

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Medidas de eficiência energética na IP

José Miguel Gonçalves Cerqueira de Oliveira

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Professor Doutor Fernando Pires Maciel Barbosa

Junho de 2018

© José Miguel Gonçalves Cerqueira de Oliveira, 2018

Resumo

O objetivo desta dissertação é o estudo, análise e definição de medidas de eficiência em Iluminação Pública (IP), aplicado a um caso prático numa via urbana.

Neste sentido, procedeu-se inicialmente a uma descrição da evolução histórica da IP, sendo apresentados alguns exemplos de projetos realizados.

No seguimento, apresentou-se a evolução das tecnologias de iluminação para a IP, dando-se especial ênfase às tecnologias contemporâneas. Foi analisada em particular a tecnologia LED, descrevendo-se as principais características, vantagens e desvantagens da mesma.

É dedicado um capítulo à descrição de alguns sistemas de controlo e gestão das redes de IP atualmente utilizados, referindo-se as suas principais características.

Posteriormente, procedeu-se à apresentação do projeto de Iluminação Pública de uma via rodoviária. Para o estudo luminotécnico executado, apresentaram-se duas propostas de solução de implementação da iluminação, recorrendo a duas tecnologias diferentes: tecnologia LED e vapor de sódio de alta pressão. As duas alternativas foram comparadas, analisando-se os seus prós e contras, nomeadamente ao nível de eficiência energética, com o objetivo de encontrar a solução mais adequada ao caso em estudo.

Em anexo, foram descritos alguns dos principais parâmetros luminotécnicos necessários para executar um projeto luminotécnico de forma adequada.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Iluminação Pública, Lâmpadas de Vapor de Sódio, LED Luminotecnica.

Abstract

The objective of this dissertation is the study, analysis and definition of measures of efficiency in Public Lighting (PL).

A description of the historical evolution of IP and some projects examples are presented.

Next, the evolution of lighting technologies for IP it is presented, with special emphasis on contemporary technologies. LED technology it is analyzed in particular. Its main characteristics, advantages and disadvantages are presented.

A chapter is dedicated to the description of some control and management systems of PL networks currently used, presenting their main characteristics.

Subsequently, the project of Public Lighting of a road made it is presented. For the lighting study carried out, two solution proposals of lighting implementation are presented, using two different technologies: LED technology and high pressure sodium vapor (VSAP). The two alternatives were compared and their pros and cons were analyzed, namely the energy efficiency level, in order to find the most appropriate solution to the case under study.

In the annex, some of the main lighting parameters required to execute a lighting project in a suitable way are described.

Key words: Energy Efficiency, LED, Lighting, High Sodium vapor bulbs, Public Lighting.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, o Professor Doutor Fernando Pires Maciel Barbosa, por toda a disponibilidade, orientações, e ensinamentos prestados durante todo o processo de elaboração deste trabalho.

Agradeço também à minha namorada, Joana Gonçalves, por todo apoio, compreensão e amor nesta etapa.

Agradeço ainda às minhas primas, Cláudia e Verónica, pelo apoio prestado.

Finalmente, mas com toda a certeza às pessoas mais importantes, os meus pais, José e Fernanda, onde quer que estejam, o meu eterno obrigado.

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	vi
Agradecimentos	viii
Índice	x
Lista de figuras	xiv
Lista de tabelas	xviii
Abreviaturas e Símbolos	xx
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 - Enquadramento.....	2
1.2 - Organização e objetivos da tese	2
Capítulo 2	6
Evolução da IP.....	6
2.1 - Enquadramento histórico da Iluminação Pública	6
2.1.1 - Breve história da iluminação no Mundo	6
2.1.2 - Breve história da IP em Portugal	8
2.2 - Caraterização do problema energético mundial.....	9
2.2.1 - Consumo Energético Mundial.....	9
2.2.2 - Consumo de eletricidade	11
2.3 - Caraterização da IP em Portugal	13
2.3.1 - Consumo de Energia em Portugal	14
2.3.2 - Evolução do consumo de IP em Portugal.....	15
2.4 - Eficiência Energética	16
2.4.1 - Política Energética	16
2.4.2 - Tarifa de IP em Portugal	17
2.4.3 - Alguns exemplos de eficiência energética em IP	19
2.4.3.1 - Eficiência na A29	19
2.4.3.2 - Porto.Luz + Eficiente.....	20
2.4.3.3- Projeto LED em Vila de Rei	20
2.5 - Conclusão.....	21

Capítulo 3	23
Tecnologias de IP	23
3.1 - Introdução	23
3.2 - Tipos de lâmpadas	24
3.2.1 - Tecnologias Antigas	24
3.2.1.1 - Lâmpadas incandescentes	24
3.2.1.2 - Lâmpadas de vapor de mercúrio	26
3.2.2 - Tecnologias Atuais	28
3.2.2.1 - Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão (VSAP)	28
3.2.2.2 - Iodetos metálicos	30
3.2.2.3 - LED	32
3.2.2.3.1 - Vantagens da tecnologia LED	35
3.3 - Aparelhagem auxiliar	36
3.3.1 - Balastro	36
3.3.1.1 - Balastro Eletromagnético vs. Balastro eletrónico	36
3.3.1.2 - Balastro Eletromagnético	37
3.3.1.3 - Balastro eletrónico	37
3.3.2 - Condensador	38
3.3.3 - Ignitor	38
3.3.4 - Drivers de LEDs	39
3.4 - Luminárias	40
3.4.1 - Constituição	40
3.4.2.1 - Sistema ótico	40
3.4.2.2 - Corpo	41
3.4.2.3 - Suporte	41
3.4.3 - Apoios	41
3.4.3.1 - Postes ou Colunas de Iluminação	41
3.4.3.2 - Cabos de Suspensão	42
3.4.3.3 - Braços em Fachadas de Edifícios	43
3.5 - Eficiência luminosa de diferentes tipos de tecnologias	43
3.6 - Conclusão	44
Capítulo 4	47
Sistemas de Controlo de Gestão de IP	47
4.1 - Medidas de eficiência na IP	47
4.1.1 - Desligar os circuitos de IP	48
4.1.2 - Manutenção dos sistemas de iluminação	49
4.1.3 - Substituição de equipamentos antigos por equipamentos mais eficientes	50
4.2 - Controlo em IP	51
4.2.1 - Arquiteturas de controlo em IP	51
4.2.2 - Opções de controlo energético	52
4.3 - Sistemas de controlo e gestão	53
4.3.1 - Relógios crepusculares	53
4.3.2 - Reguladores de fluxo	54
4.3.3 - Sistemas de Telegestão	55
4.3.3.1 - Arquiteturas	56
4.3.3.2 - Sistema de telegestão OWLET	58
4.3.3.3 - Soluções Stand-Alone	58
4.3.3.4 - Rede Autónoma	59
4.3.3.5 - Rede Interativa	59
4.3.3.6 - Solução de telegestão integrada na arquitetura Inovgrid	60
4.4 - Integração das renováveis na IP	61
4.5 - Conclusão	62

Capítulo 5	64
Projeto de rede IP	64
5.1 - Introdução	64
5.2 - Descrição da Via	65
5.3 - Classificação da via	65
5.4 - Estudo luminotécnico	69
5.4.1 - Proposta SENSO 2.....	70
5.4.1.1 - Rotunda.....	72
5.4.1.2 - Reta	73
5.4.1.3 - Cruzamento	74
5.4.1.4 - Resultados.....	75
5.4.1.4.1 - Rotunda	75
5.4.1.4.2 - Reta.....	76
5.4.1.4.3 - Cruzamento	77
5.4.2 - Proposta ONYX 2.....	78
5.4.2.1 - Rotunda.....	80
5.4.2.2 - Reta	81
5.4.2.3 - Cruzamento	82
5.4.2.4 - Resultados.....	83
5.4.2.4.1 - Rotunda	83
5.4.2.4.2 - Reta.....	84
5.4.2.4.3 - Cruzamento	85
5.5 - Comparação das duas soluções	86
5.6 - Conclusão.....	88
Capítulo 6	91
Conclusões e Perspetivas de trabalho Futuro.....	91
Referências	94
Anexo I.....	98
Definições e conceitos de luminotecnia	98
Espetro Eletromagnético	98
Sistema Visual	99
Acuidade visual	100
Visão fotópica	101
Visão escotópica.....	101
Visão mesópica	101
Efeito de Purkinje	101
Curva de sensibilidade do olho	101
Encandeamento incomodativo (G)	102
Encandeamento Perturbador (TI)	103
Luminotecnia	104
Absorção (α).....	104
Coeficiente de Utilização (η)	104
Rácio de saída do fluxo luminoso (LOR)	104
Rácio Envolvente (SR)	105
Fator de utilização na instalação	107
Fator de utilização (FU)	107
Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL)	107
Fator de sobrevivência da lâmpada (FSL)	108
Fator de manutenção da luminária (FML).....	108
Fator de manutenção (FM).....	109

Fluxo luminoso (ϕ)	109
Iluminância (E)	110
Temperatura de cor (Tc)	112
Índice de reprodução de cor (IRC)	112
Intensidade Luminosa (I)	113
Luminância (L).....	114
Poluição luminosa.....	115
Luz emitida para o céu	116
Luz intrusiva.....	116
Brilho encadeante	117
Uniformidade	117
Uniformidade geral (Uo)	117
Uniformidade longitudinal (Ul).....	117
Uniformidade média (Um)	118
Tempo de vida de uma luminária.....	118
Eficácia Luminosa (η)	119
Eficiência Energética (IEE)	120
Classe de Eficiência energética das lâmpadas	120
Índice de Eficiência Energética (IEE)	121
Referências ANEXO I	123

Lista de figuras

Figura 2-1 - Diagrama de alguns marcos importantes na história da iluminação [6].	8
Figura 2-2- "Homem do gás", acendendo os candeeiros na praça do comércio, em finais do século XIX, Lisboa [7].	8
Figura 2-3- Distribuição de consumo energético Mundial em 2005 [9].	10
Figura 2-4- Distribuição de consumo de energia primária no ano de 2015 [9].	10
Figura 2-5- Total de geração de eletricidade em 2015 em diversas regiões [9].	11
Figura 2-6- Consumo de eletricidade do planeta, em 2005, por área geográfica [9].	12
Figura 2-7- Consumo de eletricidade do planeta, em 2015, por área geográfica [9].	12
Figura 2-8- Resumo da distribuição de fontes luminosas, luminárias e apoios na IP em Portugal [3].	14
Figura 2-9- Evolução de consumo de energia elétrica em Portugal [12].	15
Figura 2-10- Distribuição de consumo de eletricidade por setor de atividade em 2015 [12].	15
Figura 2-11- Evolução do consumo IP em Portugal [12].	16
Figura 2-12- Troço da autoestrada A29, iluminada com tecnologia LED [16].	20
Figura 3-1- Diagrama rendimento e perdas de lâmpada incandescente [13].	25
Figura 3-2- Espectro luminoso da lâmpada incandescente [13].	25
Figura 3-3- Esquema de ligação de uma lâmpada HPM [20].	26
Figura 3-4- Diagrama de rendimento e perdas de lâmpada HPM [13].	27
Figura 3-5- Espectro eletromagnético da lâmpada vapor de mercúrio [21].	27
Figura 3-6- Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.	28
Figura 3-7- Diagrama de rendimento e perdas de lâmpada VSAP [13].	29
Figura 3-8- Espectro eletromagnético da lâmpada VSAP [21].	30
Figura 3-9- Constituição da lâmpada de iodetos metálicos [3].	31

Figura 3-10- Diagrama de rendimento e perdas de lâmpadas de iodetos metálicos [13].	32
Figura 3-11- Espectro de lâmpada de iodetos metálicos CosmoWhite CPO-TW [20].	32
Figura 3-12- Estrutura de um LED [23].	33
Figura 3-13- Exemplos de tipos de luminárias LED para IP [25].	34
Figura 3-14- Espectro eletromagnético da lâmpada LED [21].	35
Figura 3-15- Exemplos de postes e colunas de iluminação [3].	42
Figura 3-16- Exemplo de cabo de suspensão [3].	42
Figura 3-17- Exemplos de luminárias em fachadas [3].	43
Figura 3-18- Histórico e projeção para diferentes tecnologias de fontes de luz [21].	44
Figura 4-1- Autocolante da EDP para o programa "foco desligado" [20].	49
Figura 4-2- Distribuição dos custos durante a vida útil [29].	50
Figura 4-3- Topologias do sistema IP [30].	52
Figura 4-4- Componentes de um sistema de telegestão sem controlo de segmento [3].	57
Figura 4-5- Componentes de um sistema de telegestão com controlo de segmento [3].	57
Figura 4-6- Exemplo de aplicação [32].	59
Figura 4-7- -Comunicação <i>wireless</i> entre as luminárias [28].	59
Figura 4-8- Exemplo de funcionamento da rede interativa OWLET [32].	60
Figura 4-9- Etapas para parametrização de circuitos da IP, utilizando a SMART-IP [3].	61
Figura 5-1- Planta da via pública em estudo.	65
Figura 5-2- Classes de iluminação segundo a norma EN13201 [3].	66
Figura 5-3- Divisão por áreas das diversas malhas a iluminar.	69
Figura 5-4- Imagem da luminária SENSO 2 [33].	70
Figura 5-5- Diagrama polar da luminária SENSO 2 [34].	71
Figura 5-6- Curva de utilização da luminária SENSO 2 [34].	72
Figura 5-7- Planta da rotunda com a disposição das luminárias.	72
Figura 5-8- Planta da reta rodoviária com a disposição das luminárias.	73
Figura 5-9- Planta do cruzamento rodoviário com a disposição das luminárias.	74
Figura 5-10- Distribuição da iluminância na malha da rotunda.	76
Figura 5-11- Distribuição da luminância na malha da reta.	77
Figura 5-12- Distribuição da luminância na malha do cruzamento.	78

Figura 5-13- Imagem da luminária ONYX 2 [36].	78
Figura 5-14- Diagrama polar da luminária ONYX 2 [35],	79
Figura 5-15- Curva de utilização da luminária ONYX 2 [35].	80
Figura 5-16- Planta da rotunda com a disposição das luminárias.	80
Figura 5-17- Planta da reta rodoviária com a disposição das luminárias.	81
Figura 5-18- Planta do cruzamento rodoviário com a disposição das luminárias.	82
Figura 5-19- Distribuição da iluminância na malha da rotunda.	84
Figura 5-20- Distribuição da luminância na malha da reta.	85
Figura 5-21- Distribuição da luminância na malha do cruzamento.	86
Figura I-1- Ilustração do espectro eletromagnético [I-1].	99
Figura I-2- Esquema da AV [I-4].	100
Figura I-3- Curvas de sensibilidade espectral do olho humano [I-8].	102
Figura I-4- Ilustração dos parâmetros utilizados para o cálculo do TI [I-4].	103
Figura I-5- Ilustração e esquematização dos rácios ULOR e DLOR [I-4].	105
Figura I-6- Parâmetros para o cálculo do rácio SR [I-4].	105
Figura I-7- Largura máxima para as faixas de 5 m para o cálculo de SR [I-4].	106
Figura I-8- Metade da largura da estrada para o cálculo de SR [I-4].	106
Figura I-9- Parede a obstruir a faixa longitudinal exterior para o cálculo de SR [I-4].	106
Figura I-10- Representação do fator FMLL [I-4].	107
Figura I-11- Representação do fator FSL [I-4].	108
Figura I-12- Ilustração do fator FML [I-4].	108
Figura I-13- Gráfico que pretende caraterizar o fator de manutenção (FM) [I-4].	109
Figura I-14- Ilustração do conceito de iluminância [I-11].	111
Figura I-15- Gráfico de temperaturas de cores [I-14].	112
Figura I-16- Ilustração do conceito de luminância [I-17].	114
Figura I-17- Esquema para o cálculo da luminância [I-4].	115
Figura I-18- Fluxo luminoso emitido por uma luminária [I-14].	116
Figura I-19- Parâmetros de uniformidade geral e longitudinal [I-14].	118
Figura I-20- Gráfico de tempo de vida útil (L70) e médio (B50) [I-14].	119
Figura I-21- Etiquetas de eficiência energética para lâmpadas [I-19].	120

Lista de tabelas

Tabela 2-1- Elementos de cadastro Nacional de IP [3].....	13
Tabela 2-2- Tabela da tarifa transitória de venda a clientes finais em IP (> 20,7kVA) [14]. ..	18
Tabela 2-3- Tabela da tarifa transitória de venda a clientes finais em IP (<20,7kVA) [14]. ...	18
Tabela 3-1- Vantagens e desvantagens do balastro eletromagnético [3].	37
Tabela 3-2- Vantagens e desvantagens do balastro eletrônico [3].....	38
Tabela 4-1- Caraterísticas técnicas gerais dos relógios [31].	53
Tabela 4-2- Período de funcionamento de uma rede IP no hemisfério norte [3].....	54
Tabela 4-3- Poupança energética com recurso a regulação de fluxo [28].	55
Tabela 5-1- Requisitos fotométricos para as classes de alta e média velocidade [3].	67
Tabela 5-2- Seleção de classes de iluminação - M.	68
Tabela 5-3- Caraterísticas da luminária SENSO 2 [34].	71
Tabela 5-4- Mapa de quantidades da solução Senso 2.	74
Tabela 5-5- Resultados do estudo para a rotunda.	75
Tabela 5-6- Resultados do estudo para reta.	76
Tabela 5-7- Resultados do estudo para o cruzamento.	77
Tabela 5-8- Algumas caraterísticas da luminária ONYX [36]:	79
Tabela 5-9- Mapa de quantidades da proposta ONYX 2.	82
Tabela 5-10- Resultados do estudo para a rotunda.....	83
Tabela 5-11- Resultados do estudo para reta.....	84
Tabela 5-12- Resultados do estudo para o cruzamento.....	85
Tabela 5-13 - Valores comparativos das duas propostas.....	87

Tabela I-1- Tabela com alguns valores característicos para fluxo luminoso de várias fontes [I-10].	110
Tabela I-2- Exemplos práticos de níveis de iluminância [I-12].	111
Tabela I-3-Exemplos de fontes de luz, com temperatura (K°) e IRC [I-15].	113
Tabela I-4- Tabela com eficácia fotópica e escotópica de vários tipos de lâmpadas [I-14].	120
Tabela I-5- Tabela de classificação energética em IP [I-14].	121

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

AV	Acuidade Visual
CIE	International Commission on Illumination
CSA	Coeficiente de Sobre Amostragem
DEEC	Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
DLOR	Downward Light Output Ratio
EDP	Energias de Portugal
Eh	Iluminância horizontal
Ehem	Iluminância hemisférica
Ev	Iluminância vertical
Esc	Iluminância semicilíndrica
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FM	Fator de Manutenção
FML	Fator de Manutenção da Luminária
FMLL	Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada
FSL	Fator de Sobrevivência da Lâmpada
FU	Fator de Utilização
GEE	Gases Efeito de Estufa
HID	<i>High Intensity discharge</i>
HPM	<i>High Pressure Mercury vapour</i>
HPS	<i>High Pressure Sodium</i>
IEE	Índice de Eficiência Energética
IP	Iluminação Pública
IV	Infravermelhos
IRC	Índice de Reprodução de Cor
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LOR	<i>Light output ratio</i>
lx	lux
MEID	Ministério da Economia, Inovação e Desenvolvimento

NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PT	Posto de Transformação
SI	Sistema Internacional
SR	<i>Surrounding Ratio</i>
VSAP	Vapor de Sódio de Alta Pressão
T _c	Temperatura de cor
TI	<i>Threshold Increment</i>
ULOR	<i>Upward Light Output Ratio</i>
UV	Ultravioletas

Lista de símbolos

<i>E</i>	Iluminância
<i>G</i>	Encandeamento incomodativo
<i>I</i>	Intensidade luminosa
<i>L</i>	Luminância
α	Absorção
η	Eficácia luminosa
Θ	Ângulo da acuidade visual
ϕ	Fluxo luminoso
ω	Frequência angular

Capítulo 1

Introdução

Esta dissertação tem como principal objetivo a implementação de um projeto luminotécnico de uma via urbana rodoviária, comparando-se duas tecnologias diferentes no que respeita à eficiência energética e parâmetros luminotécnicos mais adequados ao espaço em estudo. A escolha do tema justifica-se pelo interesse pessoal na área de eficiência energética e pela importância que a mesma assume na gestão nas redes de iluminação pública.

Numa primeira fase, procedeu-se à investigação, interpretação e reflexão de uma série de trabalhos científicos e conceitos sobre a temática em estudo, por forma a criar uma linha de orientação na conceção deste projeto.

Deste modo, realizaram-se uma série de leituras e sínteses, para obter informação sobre os projetos já concretizados, ressaltando-se as perspetivas consideradas mais pertinentes na abordagem do tema de investigação.

Num momento posterior, procedeu-se a uma série de simulações luminotécnicas no *software* Ulysse da Schröder com tecnologias diferentes, Led e vapor de sódio de alta pressão com o objetivo de aferir qual a melhor resposta à problemática de estudo. Nesta etapa, modificaram-se vários parâmetros e analisaram-se as respostas dos diferentes índices luminotécnicos em estudo, escolhendo-se os que apresentavam melhores parâmetros.

Em suma, o âmbito da presente dissertação baseia-se na procura de soluções que proporcionem um ponto de equilíbrio entre os níveis de iluminação exigidos pelas normas vigentes para as redes IP e a melhor eficiência energética, tendo em conta as especificidades da zona.

1.1 - Enquadramento

A iluminação pública (IP) pode definir-se como o sistema de iluminação noturno de diferentes espaços públicos, tendo como objetivos primordiais a iluminação, o reconhecimento, a orientação e a segurança do espaço onde está implementada [1].

Um projeto de iluminação pública deve assegurar que os utilizadores da via pública, peões e veículos, usufruam de uma boa visibilidade dos limites do espaço onde circulam e assegurar também a possibilidade de detetar facilmente possíveis obstáculos na via [2].

Ao nível do consumo mundial, a iluminação pública representa apenas 0.95% da energia total. Em Portugal continental, existem cerca de 3 milhões de pontos de luz de IP, a que correspondeu um consumo global de 1,3 TWh, em 2015, o que equivalente a cerca de 3% da energia saída da rede de distribuição [3].

Este estudo teve como suporte o Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública [3] que, apesar de não fazer parte dos documentos legislativos relativos à IP, fornece metodologias que podem ser utilizadas com a finalidade de projetar redes energeticamente mais eficientes, cumprindo-se as normas e os objetivos impostos pela União Europeia (UE).

A procura das novas tecnologias de IP no sentido de encontrar uma maior eficiência energética, traz vantagens tais como a diminuição do consumo de energia, melhor qualidade de iluminação e redução de gases de efeito de estufa (GEE).

Com a aplicação de medidas de eficiência energética nas redes de IP, é possível detetar e prevenir uma série de anomalias, nomeadamente o sobredimensionamento das redes, falhas do sistema a vários níveis, prejudicando a boa fiabilidade da rede, conseguindo-se deste modo uma poupança energética superior e uma maior qualidade no fornecimento de energia. Outra vantagem da aplicação deste tipo de medidas será uma diminuição da fatura de eletricidade a pagar pelos Municípios [4].

No panorama da IP, recorre-se a diferentes tipos tecnologias de iluminação, sendo a maioria delas as lâmpadas de descarga em gases e os LEDs. Os LEDs são uma tecnologia em expansão, com melhores rendimentos luminosos, sendo assim considerada, o futuro da iluminação pública [2].

1.2 - Organização e objetivos da tese

Esta dissertação tem como principal finalidade a análise de medidas de eficiência energética aplicadas a redes de Iluminação Pública, realizando-se um estudo luminotécnico

adequado a uma via urbana, apresentando-se duas soluções técnicas diferentes, possíveis de ser implementadas.

Em termos de estruturação, este trabalho dividiu-se em seis capítulos. No primeiro capítulo procede-se à introdução e enquadramento da temática em estudo, bem como à apresentação da estrutura organizacional do trabalho.

No capítulo dois, descreve-se a evolução temporal e histórica da IP. Caracteriza-se também o problema energético mundial e nacional, através do consumo energético na última década. Neste capítulo analisa-se ainda o consumo de eletricidade em Portugal, sendo apresentada uma caracterização da IP nacional e do consumo energético. Por último, aborda-se o tema da eficiência energética e das políticas vigentes em Portugal, apresentando-se ainda alguns exemplos de eficiência energética já implementados.

No capítulo três, são apresentadas diversas tecnologias para IP, onde se caracterizam os diferentes tipos de lâmpadas, bem como as suas principais características e rendimento energético. Inicia-se este capítulo com a descrição das tecnologias mais antigas, apresentando-se as lâmpadas de incandescência e as lâmpadas de vapor de mercúrio. Posteriormente, faz-se uma apresentação das tecnologias atualmente utilizadas em IP, as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, iodetos metálicos e LEDs. Neste capítulo apresenta-se também o tipo de aparelhagem auxiliar necessária ao correto funcionamento das lâmpadas utilizadas na rede. Abordam-se os balastros, os condensadores, os ignitores e os drivers de LEDs. Descreve-se ainda, os principais constituintes das luminárias. Por último, aborda-se a eficiência luminosa dos diferentes tipos de tecnologias da IP.

No capítulo quatro, procede-se à apresentação dos sistemas de controlo de gestão de IP, começando-se por descrever uma série de medidas de eficiência energética aplicadas no sistema, nomeadamente desligar os circuitos de IP, manutenção dos sistemas de iluminação e substituição de equipamentos desatualizados por equipamentos mais eficientes. Neste contexto, avança-se para a temática do controlo em IP, onde se apresentam as arquiteturas de controlo e as opções de controlo energético. Neste capítulo abordam-se também diversos sistemas de controlo e gestão utilizados em IP, destacando-se os relógios crepusculares, os reguladores de fluxo e os sistemas de telegestão. Por último, faz-se referência à integração das renováveis na IP.

No quinto capítulo, apresenta-se o trabalho prático que consiste na realização de um projeto de rede IP. O capítulo divide-se pelas diferentes etapas realizadas neste projeto. Numa primeira fase procede-se à classificação da via pública, descrevendo-se de seguida a problemática de estudo. Numa fase posterior, apresenta-se o estudo luminotécnico realizado, analisando a proposta de estudo com duas tecnologias diferentes, viáveis de implementação, a SENSO 2 e a ONYX 2. Por último, realiza-se a comparação e discussão dos resultados das duas propostas.

No sexto e último capítulo, estão materializadas as principais conclusões da presente dissertação bem como propostas a considerar para futuros trabalhos.

No anexo I, apresentam-se conceitos luminotécnicos importantes para a execução de um estudo luminotécnico.

Capítulo 2

Evolução da IP

2.1 - Enquadramento histórico da Iluminação Pública

A iluminação pública tem como objetivo a iluminação de um determinado local público, recorrendo ao uso mais eficiente possível de energia. A utilização racional e eficiente de energia é uma preocupação crescente da humanidade, devido a questões ambientais e económicas, pelo que há, por parte das entidades responsáveis, a necessidade de utilizar equipamentos de Iluminação Pública (IP) que possibilitem essa racionalidade e eficiência.

2.1.1 - Breve história da iluminação no Mundo

Em termos cronológicos, a luz solar foi a primeira fonte de energia ao dispor do homem, com todas as limitações inerentes, nomeadamente em termos de duração diária e das estações do ano.

Na pré-história, a invenção do fogo, uma das maiores conquistas humanas, a par da invenção da linguagem e da escrita, possibilitou ao homem períodos de iluminação mais longos, bem como a iluminação artificial dos espaços (cavernas). Paralelamente, o homem utilizava ainda do fogo para o seu aquecimento e para a sua proteção. Foi neste período histórico que surgiram as tochas primitivas, primeiro artefacto para transporte do fogo,

posteriormente aperfeiçoadas com madeira resinada pelos fenícios e egípcios. O homem inventou também as lucernas, um pequeno utensílio feito em pedra ou barro, que produziam luz artificial e móvel através de óleos vegetais. Surgiram ainda as velas, elaboradas com gordura animal e fibras vegetais [5].

As primeiras lâmpadas, inventadas pelo homem e datadas em 7 mil anos a.C., eram fabricadas com óleo natural. Este instrumento foi utilizado nos séculos IV e V, otimizado pela civilização grega que usou a cerâmica na sua manufatura e o azeite como combustível. Pese embora a fácil produção, este instrumento tinha como constrangimento a dificuldade de manuseamento. Neste contexto, estas lâmpadas só podiam ser fabricadas em zonas mediterrânicas, pois é nestes espaços que proliferam as oliveiras. Ressalve-se que Atenas tornou-se à época no principal fabricante e exportador de lâmpadas de cerâmica [5].

A vela, inventada 400 anos a.C., foi massificada no século XIV. De cariz rudimentar, produzida com gordura animal, tinha como inconvenientes a libertação de muito fumo, cheiro nauseabundo e insegurança no manuseamento [5].

Avançando na história, só no século XVIII se poderá falar num novo dispositivo de iluminação, a lâmpada de Argand, inventada e patenteada por Aimé Argand, em 1780. Este artefacto, que utilizava óleo de boa liquidez, de origem animal, emanava luz equivalente à produzida por cerca de dez velas.

No ano de 1792, em Inglaterra, William Murdoch usou gás de carvão para iluminação da sua residência [6].

A primeira lâmpada com combustão a querosene foi inventada em 1809. Refira-se ainda que, ao longo desse ano, apareceram as lâmpadas de “arco elétrico”. A mecânica das mesmas consistia no uso de uma bateria com ligação de dois contactos de carbono, sendo que a corrente fluía através de um arco de vaporização de carbono originando uma luz branca e intensa [6].

Em 1814, surgiu a primeira iluminação pública a gás, na cidade de Londres. Nove anos depois, em 1823, esta cidade contava já com cerca de 40 mil lâmpadas a gás nas suas ruas [5], [6].

Em 1879, o americano Thomas Edison patenteou a lâmpada incandescente. A primeira lâmpada de Edison que obteve sucesso foi criada com um filamento de carbono envolto numa ampola de vidro no vácuo. Em 1880 o americano fez variadas experiências com diversos materiais, sendo que de todos esses aquele que obteve maior sucesso e melhores resultados foi o bambu. Thomas Edison, foi desta forma, um dos primeiros a utilizar eficazmente a tecnologia da iluminação incandescente [5], [6].

Peter Cooper Hewitt, criou, em 1901, a primeira lâmpada comercial de vapor de mercúrio, aquela que viria a tornar-se na percussora da lâmpada fluorescente [6].

Em 1926, Edmund Germer patenteou a moderna lâmpada fluorescente. Em 1927, o russo Oleg Losev criou o primeiro LED [6].

Em 1963, Kurt Schimidt inventou a lâmpada a vapor de sódio de alta pressão, cuja comercialização no mercado ocorreu em 1966. Esta tem a vantagem de ser mais económica do que as anteriores tecnologias, ou seja, mercúrio, fluorescente e incandescente [6].

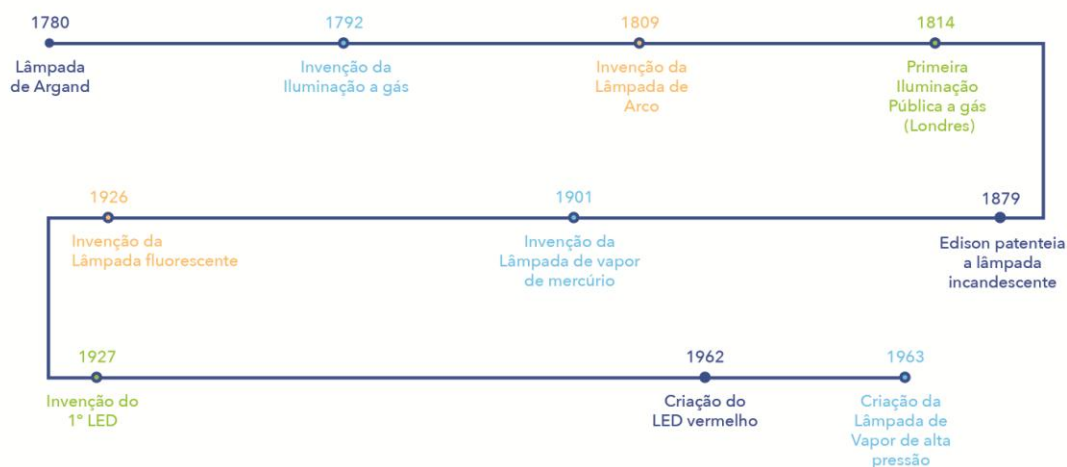


Figura 2-1 - Diagrama de alguns marcos importantes na história da iluminação [6].

2.1.2 - Breve história da IP em Portugal

As primeiras experiências em Portugal de IP aparecem no ano de 1780 em Lisboa e utilizavam o azeite como fonte de energia. No ano de 1848 foram introduzidas as primeiras luminárias a gás, também na cidade de Lisboa.

Passado quase cem anos dos primeiros projetos de IP em Portugal, datava o ano de 1878 quando se iniciaram as primeiras experiências com eletricidade, sendo que o seu uso permanente decorreu a partir de 1929. Contudo em muitas áreas rurais a eletricidade só chegou após o 25 de Abril de 1974.



Figura 2-2- "Homem do gás", acendendo os candeeiros na praça do comércio, em finais do século XIX, Lisboa [7].

A implementação da rede elétrica em Portugal foi um processo demorado, a nível geográfico do litoral para o interior, originando contrastes ainda mais acentuados entre as referidas regiões. Para a disseminação da rede a todo o país, teve que se aguardar pela segunda metade do século XX, atingindo-se a taxa de 95% de cobertura da IP em meados dos anos 80.

Refira-se, a título de curiosidade, que na cidade do Porto, a eletrificação da IP iniciou-se no ano de 1924.

2.2 - Caraterização do problema energético mundial

Desde sempre, a humanidade precisou de energia para a realização das suas tarefas e satisfação das suas necessidades, recorrendo-se de fontes naturais como a água e o vento.

Com o advento da revolução industrial, o homem passou a dispor de energias fósseis como o carvão e o petróleo, em grandes quantidades, de fácil extração e a baixos custos. Neste contexto, assistiu-se a um aumento exponencial do consumo energético e a uma melhoria do nível de vida.

A exploração desenfreada e não sustentada, entre os séculos XIX e XX dos recursos energéticos, levou a que nos primeiros anos do século XXI se assistisse a um grave problema energético. Tal justifica-se pelo aumento da procura de energia por todos setores económicos, em especial pelas economias emergentes. Como consequência, assistiu-se por um lado, a uma subida global dos preços internacionais das energias disponíveis e, por outro lado, ao esgotamento do modelo energético atual.

As tecnologias energéticas convencionais, libertam gases com efeito de estufa (GEE), uma das causas que está a provocar alterações climáticas no nosso planeta, originando o aumento da frequência de fenómenos climáticos e da temperatura na terra.

O aumento da temperatura do planeta, está a acelerar o degelo, fenómeno de perda das suas massas de gelo conduzindo à subida do nível do mar, o que pode colocar em perigo, a curto prazo, as zonas costeiras e ilhas [8].

2.2.1 - Consumo Energético Mundial

O consumo de energia primária mundial é analisado com base nos dados do consumo de energia primária no Mundo relativos aos anos de 2005 e 2015, que são os últimos disponíveis [9]. A análise elaborada foi dividida pelas diferentes áreas do planeta: África, Ásia e Oceânia, América Central e Sul, Eurásia, Europa, Médio Oriente e América do Norte. Os

gráficos circulares, em percentagem, indicam a distribuição de consumos energéticos (figuras 2-3 e 2-4) pelas diferentes regiões nos anos de 2005 e 2015.

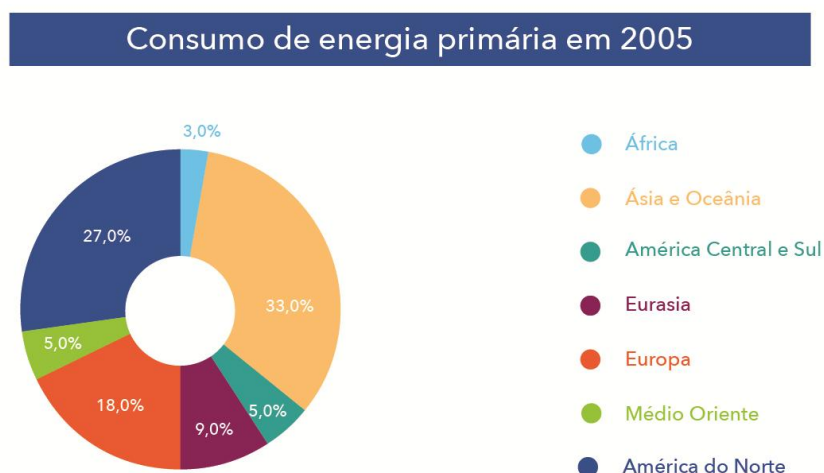


Figura 2-3- Distribuição de consumo energético Mundial em 2005 [9].

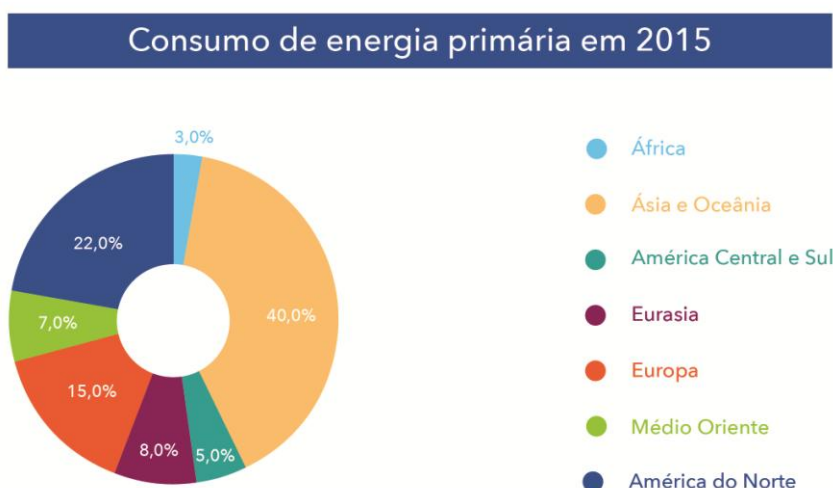


Figura 2-4- Distribuição de consumo de energia primária no ano de 2015 [9].

Estes gráficos (figuras 2-3 e 2-4), representam a distribuição de consumos de energia primária no Mundo nos anos de 2005 e 2015. Pela sua análise, verifica-se que as regiões que mais consomem energia primária são a Ásia e Oceânia, sendo que as mesmas são as regiões que mais cresceram em consumo energético na década em estudo. O valor de consumo de energia primária aumentou 7% em dez anos.

Regiões mais desenvolvidas do planeta, sendo elas Europa e América do Norte, baixaram os valores percentuais relativos aos valores verificados em 2005. Esta descida pode-se justificar devido a serem regiões mais desenvolvidas e estarem a adotar políticas que visam a eficiência energética.

As políticas de eficiência que têm vindo a ser implementadas, recorrem por um lado, ao desenvolvimento de novas estratégias que visam a eficiência, procuram produtos e serviços energeticamente eficientes, e por outro lado, uma alteração dos padrões comportamentais, com vista a um menor consumo de energia sem perda de qualidade de vida.

2.2.2 - Consumo de eletricidade

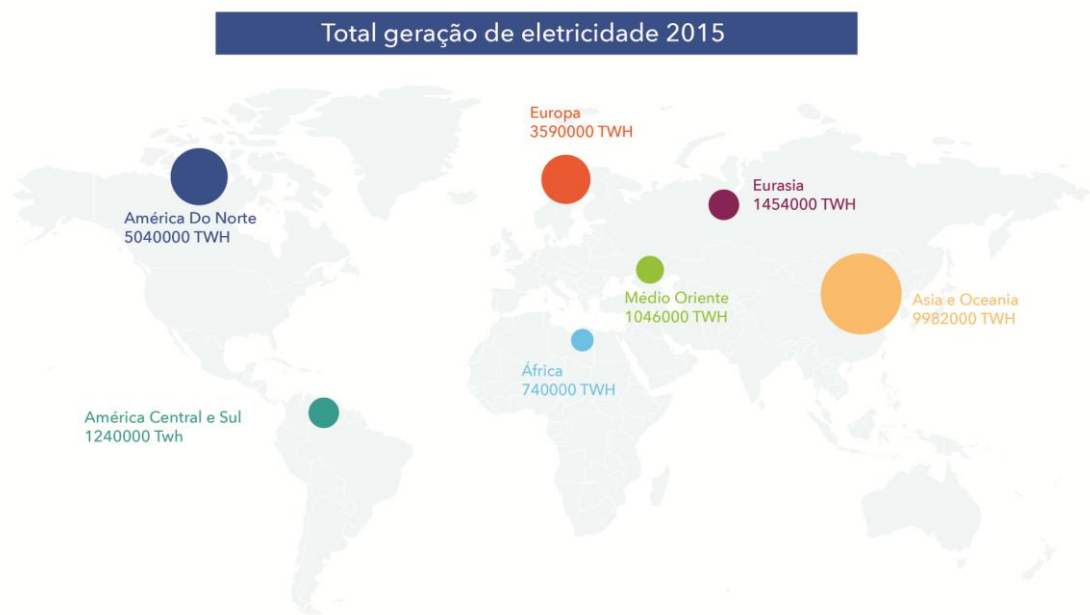


Figura 2-5- Total de geração de eletricidade em 2015 em diversas regiões [9].

A figura 2-5, apresenta um diagrama que mostra a total produção de eletricidade ao longo do ano de 2015, em diferentes regiões do planeta.

As zonas em que se verifica uma maior geração de eletricidade são a Ásia e Oceânia, a América do Norte e a Europa, Este facto poderá ser justificado por estas áreas serem as mais populosas e industrializadas do Mundo. As regiões onde se verifica menor consumo de eletricidade são: África, Médio Oriente, América Central e América do Sul, o que se justifica por serem zonas menos desenvolvidas e pouco industrializadas, sendo que nestas zonas a eletricidade é ainda pouco acessível à maioria da população.

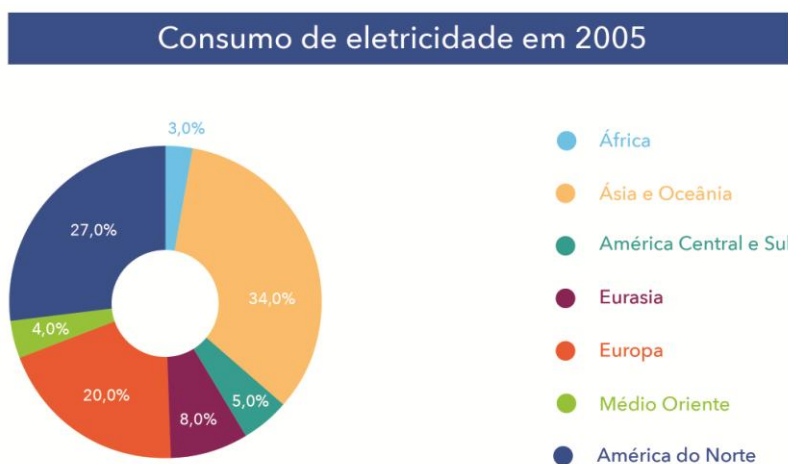


Figura 2-6- Consumo de eletricidade do planeta, em 2005, por área geográfica [9].

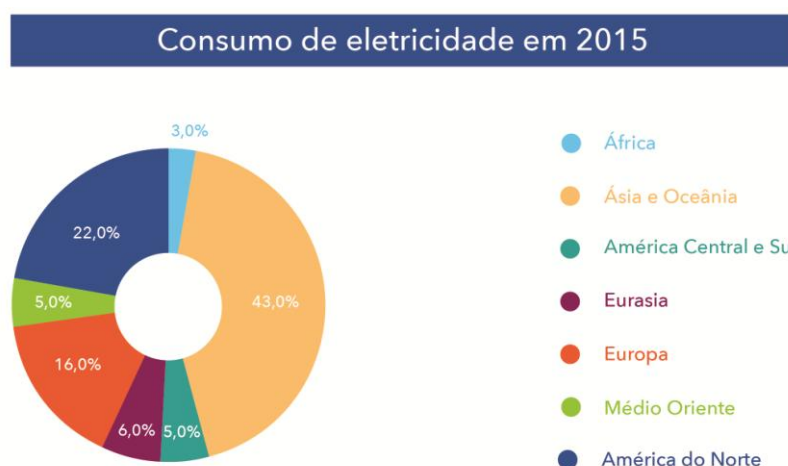


Figura 2-7- Consumo de eletricidade do planeta, em 2015, por área geográfica [9].

As figuras 2-6 e 2-7 são gráficos circulares de consumo de eletricidade em várias áreas geográficas do planeta relativo aos anos de 2005 e 2015.

Pela análise dos gráficos das figuras 2-6 e 2-7, constata-se que durante um período de dez anos, assistiu-se a um grande crescimento nas regiões da Ásia e Oceânia do consumo de eletricidade, que se traduziu num acréscimo de 9%. Este acréscimo pode ser justificado através do grande crescimento económico da China.

Pese embora a passagem de uma década, observa-se que o continente Africano manteve o mesmo nível de registos, situado no 3%. Tal facto poderá ser justificado por a maioria desta região ser subdesenvolvida e onde grande parte das pessoas não tem acesso à eletricidade.

A diminuição do consumo de eletricidade entre o período assinalado, nas regiões desenvolvidas do planeta, tais como a Europa e a América do Norte, resulta da implementação de novas políticas de eficiência energética.

2.3 - Caracterização da IP em Portugal

A IP é essencial para o desenvolvimento social e económico, bem como para a melhoria da qualidade de vida e da segurança das pessoas. Desta forma, pode-se afirmar que a IP está diretamente ligada à segurança da via pública, permitindo o reconhecimento dos espaços públicos e a orientação de trajetos, quando esta se encontra devidamente projetada e executada. Um local bem iluminado torna-se mais confortável quando comparado com um outro pouco iluminado [10].

A Iluminação pública em Portugal continental conta com cerca de 3 milhões de pontos de luz, registando um consumo global a rondar os 1,3 TWh em 2015, correspondente a 3% da energia saída da rede de distribuição.

Na tabela 2-1 e figura 2-8, apresenta-se o resultado do cadastro Nacional de Iluminação Pública. A tabela 2-1 está dividida em três colunas, sendo a primeira coluna do tipo de fontes luminosas, a segunda do tipo de luminárias e a terceira o tipo de apoios utilizados [3].

Tabela 2-1- Elementos de cadastro Nacional de IP [3].

Fonte Luminosa	Luminária	Apoio
Florescente Indução Iodetos Metálicos Vapor de Mercúrio Vapor de Sódio	Rural aberta Rural fechada Urbana aberta Urbana fechada Tipo Jardim Decorativa Especial Estilizada	Coluna de betão Coluna metálica Coluna estilizada Coluna de fibra Coluna de madeira Coluna de marmorite Fachada Postalete Poste de betão Poste de Madeira Suspensão - Catenária

Observando os gráficos da figura 2-8, verifica-se que a maioria das fontes luminosas utilizadas na IP em Portugal são lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (VSAP), as quais, com exceção dos iodetos metálicos, representam a tecnologia de fonte luminosa com potência média mais elevada por lâmpada instalada.

Os iodetos metálicos, com um consumo na IP de 40% superior ao consumo das luminárias com tecnologia LED, representam a maior fatia da secção designada por "Outras"

no tipo de fonte luminosa. Esta secção é também composta pelas lâmpadas de indução, com uma representação marginal [3].

As luminárias LED representavam no ano de 2015 uma pequena fatia no parque nacional de IP, embora com elevado potencial de crescimento.

Nas zonas urbanas as "luminárias fechadas" são as predominantes no parque nacional de IP. Quanto às zonas rurais observa-se uma distribuição mais uniforme entre os tipos de luminárias abertas e fechadas [3].

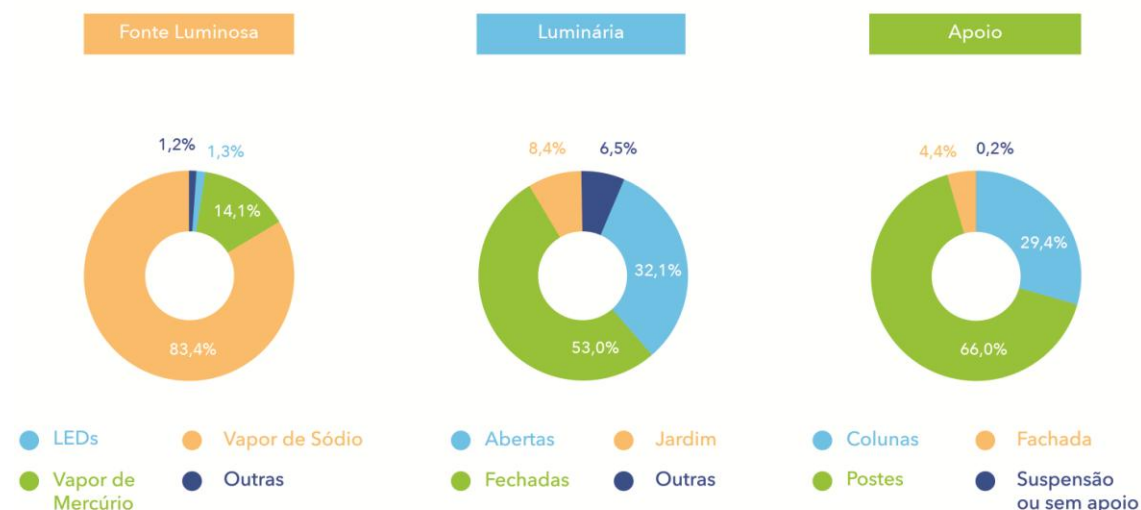


Figura 2-8- Resumo da distribuição de fontes luminosas, luminárias e apoios na IP em Portugal [3].

2.3.1 - Consumo de Energia em Portugal

O gráfico da figura 2-9 mostra a evolução do consumo anual de energia (TWh) em Portugal entre 1994 e 2015. Analisando o gráfico, verifica-se que o consumo de energia elétrica total sofreu um aumento constante de 1994 até 2007. Este facto pode ser explicado por uma economia favorável, o que levou a um aumento constante do consumo na indústria.

Após o ano de 2007, a Europa entrou em recessão económica, impondo-se políticas de racionalização energética, provocando quebras de consumo.

Registe-se que nos anos 2013 e 2014, os valores obtidos foram semelhantes aos valores de 2004.

A crise económica aliada às novas práticas de racionalização de consumos, com a aplicação das medidas de eficiência energética, permitem explicar a diminuição do consumo dos últimos anos no nosso país.

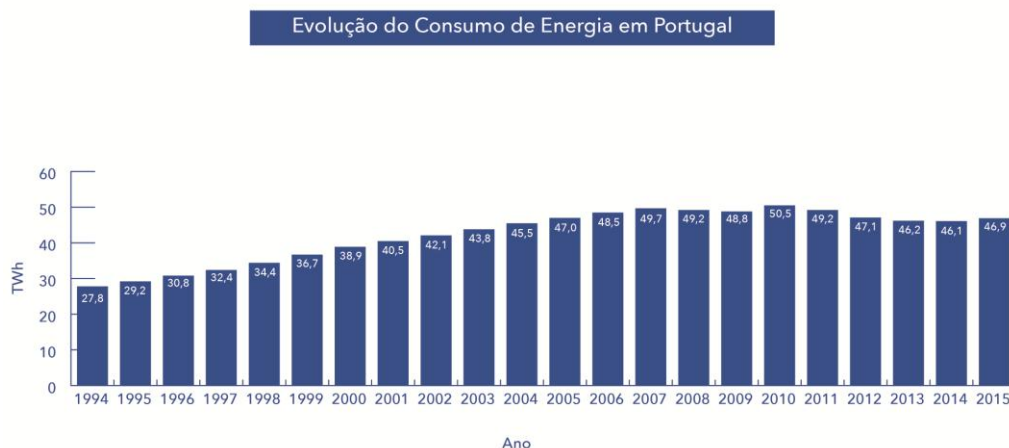


Figura 2-9- Evolução de consumo de energia elétrica em Portugal [12].

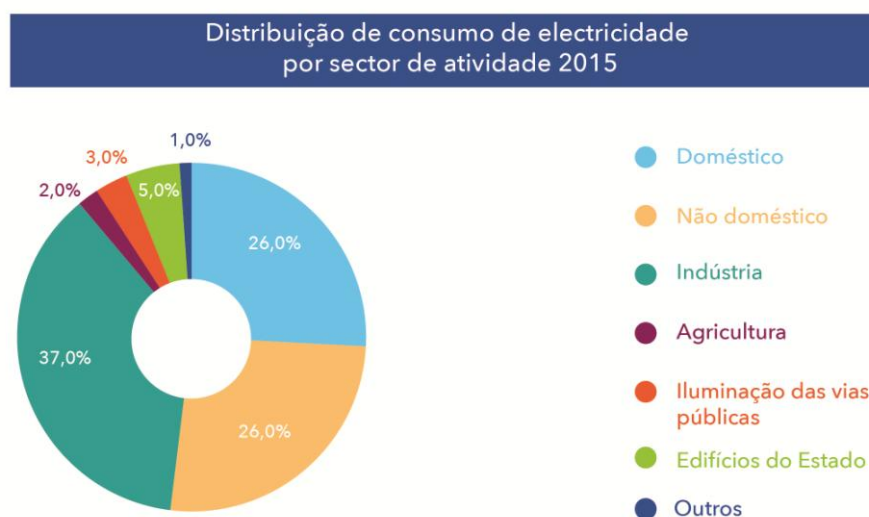


Figura 2-10- Distribuição de consumo de eletricidade por setor de atividade em 2015 [12].

Por observação do gráfico da figura 2-10, que reflete a distribuição do consumo de eletricidade por setor de atividade no ano de 2015, a iluminação pública é responsável por cerca de 3% do consumo elétrico total de 46,9 TWh consumidos em Portugal.

2.3.2 - Evolução do consumo de IP em Portugal

Em Portugal, a IP é responsável por 3% do consumo total de energia elétrica, tendo havido um crescimento no consumo neste setor, entre 2000 e 2011, de cerca de 55%, com uma taxa média de crescimento anual de cerca de 5,1%. No ano de 2011, os custos com a IP rondaram os 170 M€, sendo que grande parte foi assegurada pelos Municípios [10].

O gráfico da figura 2-11, mostra a evolução do consumo de IP em Portugal, no intervalo temporal de 1994 a 2015.

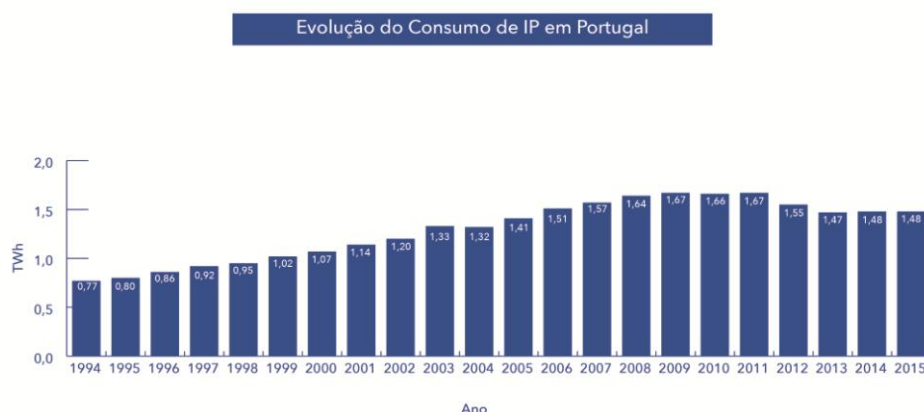


Figura 2-11- Evolução do consumo IP em Portugal [12].

Pela análise da figura 2-11, conclui-se que se registou um crescimento do consumo de IP entre 1994 e 2009, tendo-se mantido os consumos nos anos 2010 e 2011. Verificou-se um decréscimo nos anos 2012 e 2013, mantendo-se estes valores até ao ano de 2015, que se equiparam aos valores de 2005. A racionalização de energia e a substituição por novas tecnologias de IP, com melhores eficiências energéticas podem justificar esse decréscimo.

2.4 - Eficiência Energética

Devido à situação financeira precária de muitos municípios do País, e sabendo-se que a IP apresenta um peso considerável nas despesas anuais de energia, faz sentido que se tomem medidas de eficiência energética e se concentrem esforços para tornarem mais eficientes estas instalações.

2.4.1 - Política Energética

A Estratégia Nacional para a política energética passa pela ENE 2020, que define estratégias que visam o cumprimento das medidas impostas pela União Europeia, no sentido de fazer cumprir os objetivos propostos. A ENE 2020 define uma agenda para a competitividade, para o crescimento e para a independência energética e financeira do país através da aposta nas energias renováveis e da promoção integrada da eficiência energética, assegurando a segurança de abastecimento e a sustentabilidade económica e ambiental do

modelo energético. Um dos eixos em que se divide a ENE 2020 visa diretamente a promoção da eficiência energética na IP, com o objetivo de promover e apoiar projetos inovadores de IP com prioridade para os centros históricos das cidades [10].

Os principais objetivos propostos na implementação dessa política são:

- Eficiência energética e uso racional de energia com consequências na diminuição das emissões de CO_2 , durante o período de utilização da instalação.
- Adequadas condições de iluminação alinhadas com as recomendações internacionais da CIE (*International Commission on Illumination*), diretivas da União Europeia e as melhores práticas.
- Compromissos técnicos e económicos numa perspetiva social.

O mercado tem diversas soluções técnicas que permitem melhorar a eficiência energética da IP, facilitando uma gestão mais eficiente de maneira a atingir as metas estabelecidas.

Dependendo do sistema a ser implementado, podem-se reduzir os consumos de energia de forma direta ou, levar a um aumento da vida útil das lâmpadas, permitindo uma redução dos custos de manutenção das instalações de IP [10].

Existem algumas diretivas que devem ser seguidas num projeto de eficiência de IP [13]:

- A economia de energia elétrica deve ser um alvo no estudo de uma instalação IP.
- A eficiência energética pode ser satisfeita por várias soluções, com o cuidado de não prejudicar as vantagens da IP.
- Uma boa regulação do sistema de comando de iluminação, o qual deve estar perfeitamente ajustado às condições das diversas estações do ano.
- Um acendimento 15 minutos mais cedo e uma extinção 15 minutos mais tarde provoca um desperdício de 5% em energia elétrica e em duração da vida das lâmpadas, supondo uma duração anual de cerca de 4000 horas.
- O nível de iluminância deve ser em função da densidade de tráfego automóvel e do movimento de peões.

2.4.2 - Tarifa de IP em Portugal

Desde de janeiro 2018, a potência contratada para a Iluminação Pública com telecontagem é faturada de acordo com os preços indicados nas tabelas 2-2 e 2-3.

Tabela 2-2- Tabela da tarifa transitória de venda a clientes finais em IP (> 20,7kVA) [14].

Tarifa transitória de venda a clientes finais em IP (>20,7 kVA)		Preços	
Potência contratada		(Euro/kW.mês)	(Euro/kW.dia)*
Tarifa de médias utilizações		1,56	0,0513
Tarifa de longas utilizações		4,37	0,1438
Energia ativa		(Euro/kWh)	
Tarifa de médias utilizações	horas de ponta	0,3113	
	horas cheias	0,1545	
	horas de vazio	0,0851	
Tarifa de longas utilizações	horas de ponta	0,2325	
	horas cheias	0,1345	
	horas de vazio	0,0794	

* RRC art. 119º, nº6

Tabela 2-3- Tabela da tarifa transitória de venda a clientes finais em IP (<20,7kVA) [14].

Tarifa transitória de venda a clientes finais em IP (\leq 20,7 kVA)		Preços	
Potência contratada		(Euro/kW.mês)	(Euro/kW.dia)*
		1,50	0,0492
Energia ativa		(Euro/kWh)	
Tarifa simples \leq 6,9 kVA		0,1646	
Tarifa simples > 6,9 kVA		0,1652	
Tarifa bi-horária \leq 6,9 kVA	horas de fora de vazio	0,1948	
	horas de vazio	0,1009	
Tarifa bi-horária > 6,9 kVA	horas de fora de vazio	0,1986	
	horas de vazio	0,1016	
Tarifa tri-horária \leq 6,9 kVA	horas de ponta	0,2213	
	horas de cheias	0,1743	
	horas de vazio	0,1009	
Tarifa tri-horária > 6,9 kVA	horas de ponta	0,2253	
	horas de cheias	0,1765	
	horas de vazio	0,1016	

* RRC art. 119º, nº6

2.4.3 - Alguns exemplos de eficiência energética em IP

A finalidade da IP é iluminar as vias públicas e estradas para que todos os utentes se possam deslocar em segurança. Tem por objetivos dar uma boa perceção, tanto aos condutores como aos peões que nelas se movimentam e devem ter um nível de iluminação adequado de maneira a não provocar encandeamento aos seus utilizadores.

Do ponto de vista económico, a IP deve ser implementada de maneira mais eficiente possível, isto é, ao menor custo, cumprindo a sua principal função de iluminar sem colocar em causa a segurança das pessoas e bens.

De um modo geral, os custos com a IP são elevados para os municípios, devido à generalidade dos sistemas serem antigos e de baixa eficiência, aumentando os custos e podendo levantar problemas ao nível da manutenção dos sistemas de iluminação. Por exemplo, podemos ter luminárias ou balastros de baixo rendimento e em mau estado, quadros elétricos desprotegidos, entre outros. Torna-se assim forçoso tomar medidas por forma a haver maior eficiência energética da IP.

Nas secções seguintes, serão apresentados alguns exemplos de projetos em que está a ser implementada uma política de eficiência energética.

2.4.3.1 - Eficiência na A29

No ano de 2009, foi inaugurado em Portugal a primeira autoestrada (A29) da Europa iluminada a LED. Este tipo de iluminação aplicada a autoestradas apresenta valores de IRC muito superiores em comparação com as soluções convencionais e apresenta ainda uma eficiência energética na ordem dos 50% [15]. O elevado tempo de vida útil deste tipo de lâmpada (60 mil horas - mais de 14 anos de duração de vida) exige uma manutenção mínima, proporcionando, maior segurança e um melhor serviço.

A Figura 2-12 representa a implementação da tecnologia LED na autoestrada A29. A implementação deste tipo de solução que incluiu a instalação de mais de duas centenas de luminárias, ajuda a reduzir a emissão de mais de 40 toneladas de CO_2 por ano [15].



Figura 2-12- Troço da autoestrada A29, iluminada com tecnologia LED [16].

2.4.3.2 - Porto.Luz + Eficiente

O Porto.Luz + Eficiente é um programa de eficiência energética para a IP na cidade do Porto com apoio da AdEPorto e procura responder à estratégia para a eficiência energética (PNAEE-2016). Este programa iniciou-se no final de 2015, e visava a substituição de 2483 luminárias convencionais por tecnologia LED em várias ruas da cidade. Com esta intervenção conseguiu-se diminuir os custos de exploração e baixar as emissões de CO_2 para a atmosfera.

De 1 de janeiro de 2016 a 30 de Junho de 2017, este programa conseguiu diminuir o consumo de energia elétrica em 2.037.633 kWh. Outras consequências desta diminuição, foram também a diminuição da energia primária de 438 tep e da emissão de gases com efeito de estufa na ordem das 957,7 toneladas [17].

2.4.3.3- Projeto LED em Vila de Rei

O *projeto LED* no Município de Vila de Rei visa implementar a instalação de luminárias com tecnologia LED no concelho.

O investimento total previsto para o concelho será de 83.587,18€, com uma poupança de energia estimada de 81.045 kWh. As previsões apontam que o investimento realizado tenha um retorno de sete anos e meio.

A implementação deste projeto encontra-se a meio, estando já colocadas cerca de 500 lâmpadas, divididas pelas freguesias de Fundada (400 lâmpadas) e de Milreu (100 lâmpadas). Com esta política, vai-se conseguir uma poupança média mensal na fatura de eletricidade que ronda os 67% [18].

2.5 - Conclusão

Neste capítulo apresentou-se a caracterização da evolução energética desde a Pré-História até à atualidade, com especial incidência na iluminação pública portuguesa e sua eficiência, sendo esta última problemática o objetivo primordial do presente trabalho.

Procedeu-se ainda a uma análise do consumo energético a nível mundial, dando-se ênfase ao consumo de energia primária, entre o período de 2005 a 2015, alertando-se em paralelo, para os problemas daí decorrentes. Pelas observações realizadas, concluiu-se que em regiões como a Europa e América do Norte, o consumo energético decresceu, fruto das políticas de eficiência energética implementadas. No entanto, em regiões como a Ásia e Oceânia verificou-se um aumento do consumo energético. Fez-se também uma análise do consumo mundial de eletricidade por região, entre a década de 2005 a 2015.

Num momento posterior, caracterizou-se o cadastro do sistema de IP em Portugal, concluindo-se que a tecnologia das lâmpadas de vapor de sódio é predominante na rede. Pese embora a tecnologia LED ainda seja residual, revela-se como a aposta acertada no que respeita à tecnologia IP. Em Portugal, a IP tem maior presença nas zonas litorais, devido às áreas metropolitanas de Lisboa e Porto.

No que concerne à análise do consumo de eletricidade, por setor de atividade, refira-se que em 2015 a IP teve um peso de 3 % do consumo total.

Analisou-se ainda a evolução do consumo de IP em Portugal, no período de 1994 a 2015, verificando-se que houve um aumento constante até 2009, registando-se uma quebra a partir desse ano, acentuada ao longo dos anos de 2013, 2014 e 2015. Esta descida no consumo foi devida à racionalização energética e à utilização de novas tecnologias na IP.

Por fim, apresentaram-se três exemplos de eficiência energética aplicada à IP em Portugal.

Capítulo 3

Tecnologias de IP

3.1 - Introdução

A Iluminação Pública acompanha a constante evolução tecnológica, daí que as tecnologias utilizadas atualmente neste setor sejam cada vez mais eficientes. Teremos, por exemplo, que as atuais luminárias, aparelhos que distribuem, filtram e transformam a luz transmitida pela lâmpada, são muito mais eficientes do que as que eram usadas há alguns anos.

No que concerne às fontes de luz utilizadas na IP existem atualmente duas tecnologias. Por um lado, a tecnologia de descarga de alta intensidade (HID) e por outro, a tecnologia LED.

As várias de tecnologias de IP, têm um tronco comum a todas, as lâmpadas, as luminárias e a aparelhagem auxiliar.

As lâmpadas caracterizam-se por serem uma fonte de luz com objetivo de produzir uma radiação visível e eficiente.

As luminárias, têm um papel importante na distribuição eficiente e uniforme da luz no que respeita ao ambiente e ao conforto visual. Têm como funções fazer um elo de ligação entre a parte mecânica e a parte elétrica e entre as lâmpadas e os equipamentos auxiliares, bem como a proteção da instalação.

Caso se utilize a tecnologia HID, torna-se necessário utilizar aparelhagem auxiliar, nomeadamente balastros, condensadores e arrancadores. Caso se utilize tecnologia LED usa-se um driver.

3.2 - Tipos de lâmpadas

3.2.1 - Tecnologias Antigas

Nesta secção, apresentam-se dois exemplos de tecnologia antiga, as lâmpadas incandescentes e as lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão (HPM). Em virtude das diretrizes que Portugal tem que seguir, por definição do PNAEE, estas tecnologias estão em fase de substituição nos sistemas de IP.

Neste sentido, as lâmpadas incandescentes estão praticamente extintas do sistema IP no território nacional, sendo que as de vapor de mercúrio ainda têm uma presença significativa, cerca de 14,1% do total de luminárias presentes no sistema de IP nacional (Figura 2-8) [3].

3.2.1.1 - Lâmpadas incandescentes

A lâmpada de incandescência foi a primeira tecnologia de iluminação a utilizar eletricidade, sendo durante várias décadas a principal forma de consumo de energia elétrica.

Carateriza-se como um dispositivo que transforma energia elétrica em energias luminosa e térmica utilizando o efeito de Joule para essa transformação [19].

O princípio de funcionamento deste tipo de tecnologia baseia-se na passagem de corrente elétrica pelo filamento (normalmente tungsténio) existente na lâmpada aquecendo-o e tornando-o incandescente, originando luz.

Principais caraterísticas das lâmpadas de incandescência [13]:

- Rendimento baixo, 10 lm/W.
- Muito bom índice de restituição de cores (IRC).
- Tempo de vida média reduzida, 1000 horas.
- Temperatura de cor, 2700 °K.
- Ligação direta à rede.
- Preço baixo.
- Com ampola de vidro de várias formas e cores.

A figura 3-1 mostra o diagrama de rendimento da tecnologia de incandescência.

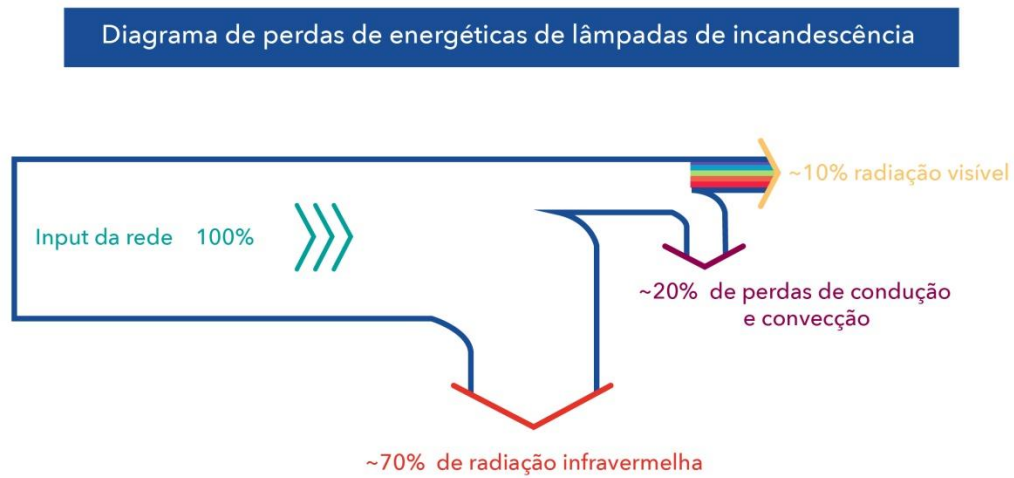


Figura 3-1- Diagrama rendimento e perdas de lâmpada incandescente [13].

A figura 3-2 mostra a distribuição espectral da luz visível da lâmpada de incandescência.

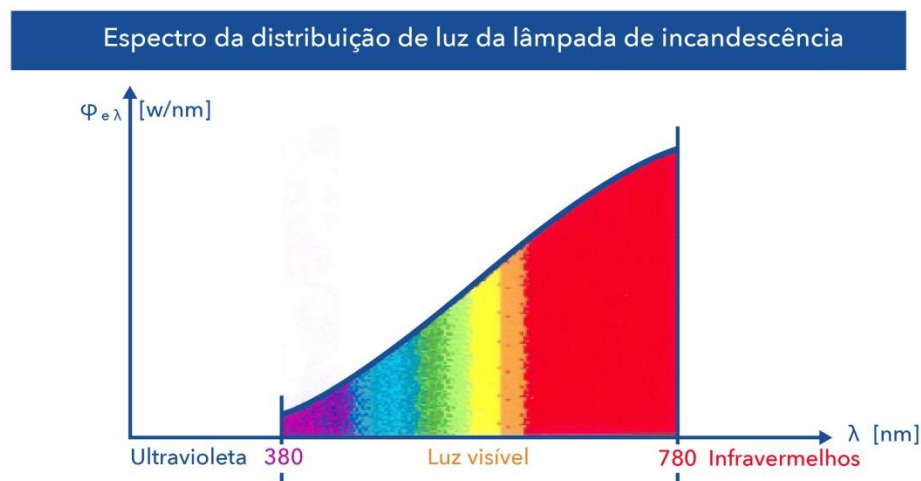


Figura 3-2- Espectro luminoso da lâmpada incandescente [13].

Esta tecnologia tem a pior eficiência luminosa de todas as atuais tecnologias utilizadas para a iluminação, pelo facto de apenas 5% da energia consumida se transformar em iluminação, sendo a restante transformado em calor.

3.2.1.2 - Lâmpadas de vapor de mercúrio

A lâmpada vapor de mercúrio de alta pressão necessita para o seu funcionamento do balastro, que serve como limitador de corrente e do condensador como aparelhagem auxiliar.

Este tipo de lâmpada tem como princípio de funcionamento a descarga entre dois eletrodos, localizados no interior de um tubo, no qual existe uma mistura de mercúrio, sob alta pressão, e árgon.

Aquando do processo de aquecimento, o mercúrio vaporiza-se de forma gradual, emitindo-se uma luz de baixa intensidade. Existem variantes deste modelo equipadas com uma camada de pó fluorescente, com vista a produzir radiação vermelha na parte interior do invólucro, de modo a transformar parte da radiação ultravioleta (UV) emitida em luz visível. Esta prática constitui uma melhoria significativa no aspeto da luz emitida, contudo não há nem uma melhoria expressiva do rendimento luminoso nem do índice de reprodução de cor (IRC) [10].

Nas HPMs apenas 15% da energia é convertida em radiação visível, sendo os restantes 85% transformados em perdas por convecção e condução e em radiação IV e UV [10].

A figura 3-3 mostra um esquema de ligação de uma lâmpada HPM.

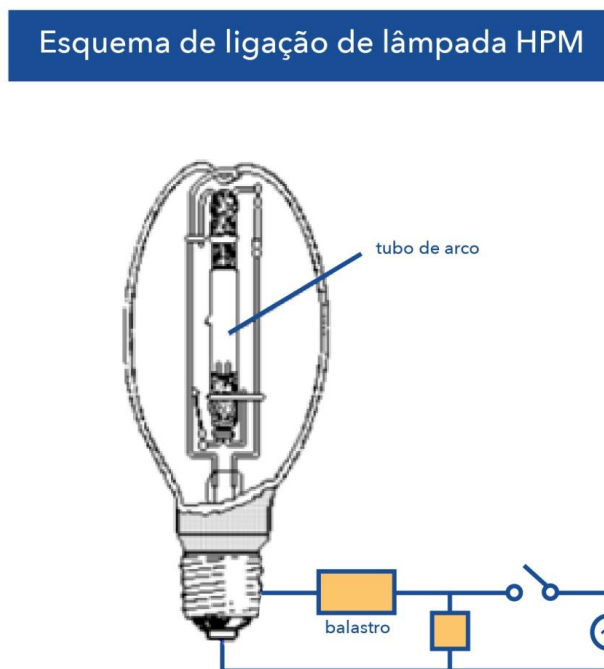


Figura 3-3- Esquema de ligação de uma lâmpada HPM [20].

Principais caraterísticas das lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão [13]:

- A luz emitida tem aparência branca-azulada.
- Rendimento luminoso, 36 a 60 lm/W.

- Índice de restituição de cores entre 40 a 57.
- Duração de vida média de 10000 a 12000 horas.
- Tempo de arranque e re-arranque, 4 e 6 minutos.
- Precisam de aparelhagem auxiliar, balastro e condensador.

A figura 3-4 mostra um diagrama de rendimento de perdas da tecnologia de lâmpadas de vapor de mercúrio:

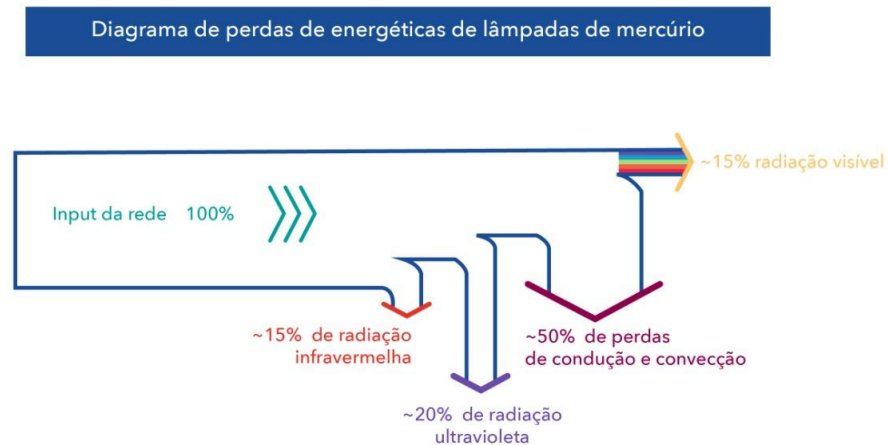


Figura 3-4- Diagrama de rendimento e perdas de lâmpada HPM [13].

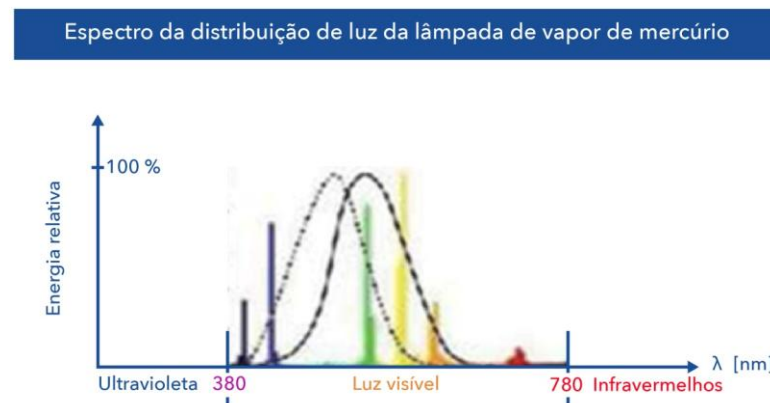


Figura 3-5- Espectro eletromagnético da lâmpada vapor de mercúrio [21].

Na figura 3-5 está representado o espectro eletromagnético da lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão, juntamente com as curvas de sensibilidade do olho. A energia mostra a energia da cor da luz assim como onde se localizam no espectro visível.

3.2.2 - Tecnologias Atuais

3.2.2.1 - Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão (VSAP)

Esta tecnologia consiste numa lâmpada de descarga de alta intensidade, sendo as suas principais características, a boa eficiência luminosa e elevada durabilidade. Este tipo de lâmpadas está amplamente difundido no sistema IP.

As lâmpadas VSAP são constituídas essencialmente por dois elétrodos inseridos num tubo de descarga de óxido de alumínio sintetizado. No interior do tubo circulam os elementos sódio, mercúrio e também xénon, em menor quantidade, para facilitar o arranque. Este tubo é normalmente inserido dentro de uma ampola de vidro em vácuo, que forma o invólucro exterior da lâmpada [22].

Por cada 1000 horas de utilização, o arco existente na lâmpada aumenta entre 1 a 2 (V), devido à diminuição da pressão dos gases que compõem a mistura dentro do tubo de descarga. Este facto é relevante, uma vez que um aumento de cerca de 10% no valor da tensão de arco implica um aumento entre 20 a 25 % da potência. Adicionalmente, terá mais dificuldades em arrancar com tensões de linha reduzidas, demorando cerca de 10 minutos a atingir o seu fluxo luminoso máximo, com um tempo de reacendimento de aproximadamente 1 minuto [3].

A figura 3-6 mostra a constituição de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.

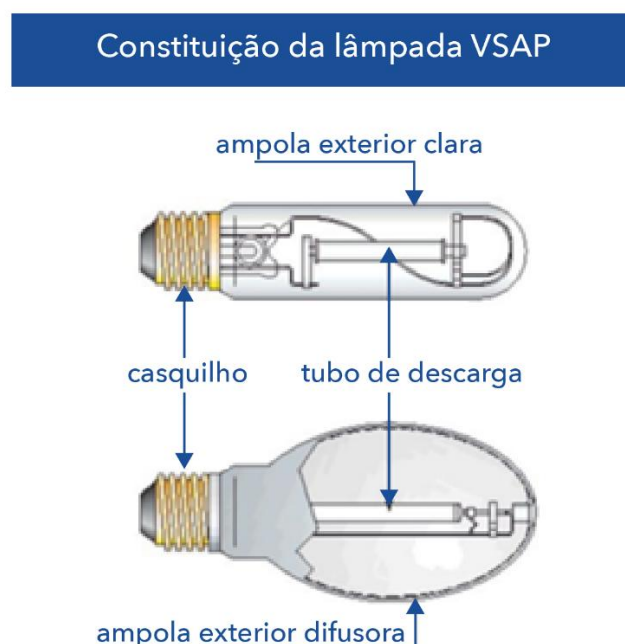


Figura 3-6- Lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.

As principais características das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (VSAP) são [13]:

- A luz emitida tem cor amarelo-alaranjada.
- O seu rendimento luminoso chega até aos 120 lm/W.
- IRC de 25 a 60.
- IRC de vapor de sódio de luz branca igual a 80.
- Temperatura de cor de 1900 a 2500 °K.
- Duração de vida média de 12000 horas.
- Tempo de arranque e re-arranque, 5 minutos e 1 minuto.
- Necessitam de aparelhagem auxiliar, balastro, ignitor e condensador.
- Preço mais elevado do que as de mercúrio e com maior rendimento luminoso.

A figura 3-7 mostra o diagrama de rendimento e perdas da tecnologia VSAP:

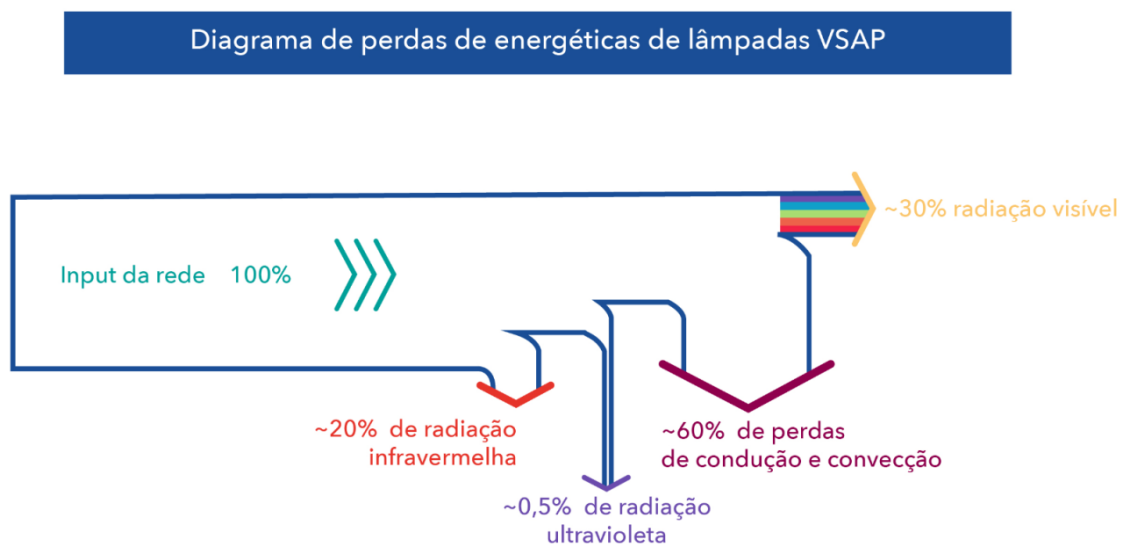


Figura 3-7- Diagrama de rendimento e perdas de lâmpada VSAP [13].

A figura 3-8 mostra o espectro eletromagnético de cores da lâmpada de sódio de alta pressão.

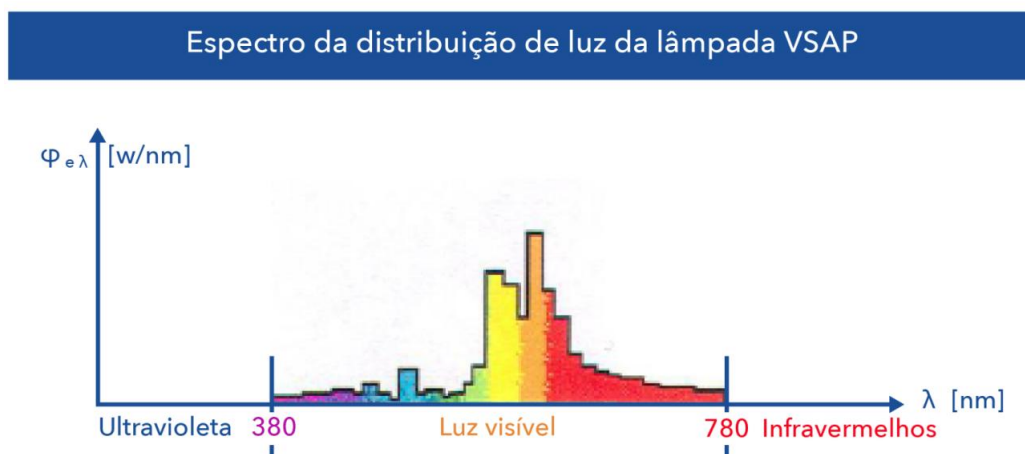


Figura 3-8- Espectro eletromagnético da lâmpada VSAP [21].

3.2.2.2 - Iodetos metálicos

Esta lâmpada é, basicamente, um melhoramento da lâmpada de vapor de mercúrio, de constituição semelhante, apresentando diferenças apenas na mistura de substâncias contidas no tubo de descarga.

As vantagens desta tecnologia são os índices de eficácia luminosa e um índice de restituição de cores muito superior. Apresenta como desvantagem, um menor tempo de vida.

Para a ignição destas lâmpadas, como pertencem ao grupo das lâmpadas de descarga, torna-se necessário a presença de um ignitor que produza picos de tensão elevados, da ordem dos 5kV. Esta tecnologia não tem capacidade de produzir instantaneamente a máxima potência luminosa. Necessita de um período de aquecimento proporcional à sua potência [3].

As lâmpadas de iodetos metálicos emitem uma luz clara, semelhante à luz do dia, com uma temperatura de cor que varia entre os 3000K e os 7000K. No entanto, a cor é afetada pelas horas de utilização do equipamento, possuindo uma duração média de utilização que ronda as 18000 horas.

Na figura 3-9 está representada a constituição de uma lâmpada de iodetos metálicos.

Constituição da lâmpada de Iodetos Metálicos

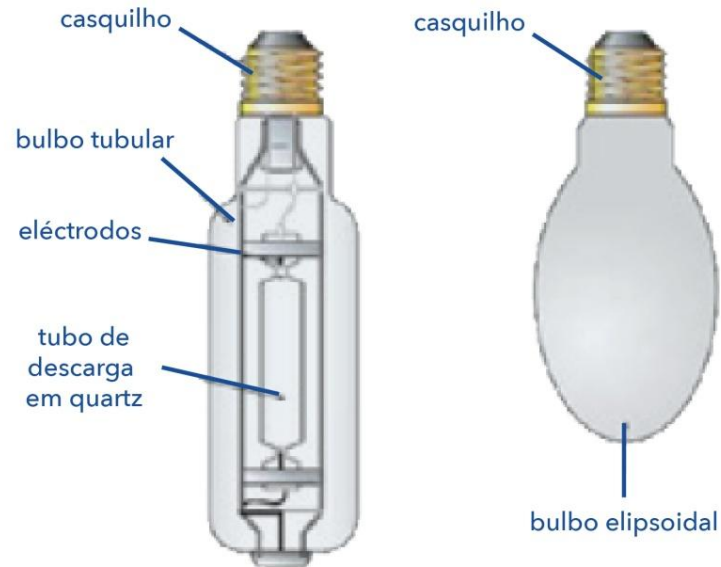


Figura 3-9- Constituição da lâmpada de iodetos metálicos [3].

As principais características das lâmpadas de iodetos metálicos são [13]:

- Emitem radiação nas três cores primárias, azul, vermelho e verde.
- Rendimento pode ir até 80 lm/W.
- IRC alto na gama dos 85 a 95.
- Temperatura de cor de 3000 a 7000 °K.
- Tempo de arranque e re-arranque, 4 e 10 minutos.
- Necessitam de aparelhagem auxiliar, balastro, ignitor e condensador.
- Preço alto.

A figura 3-10 mostra o diagrama de rendimento da tecnologia de lâmpadas de iodetos metálicos.

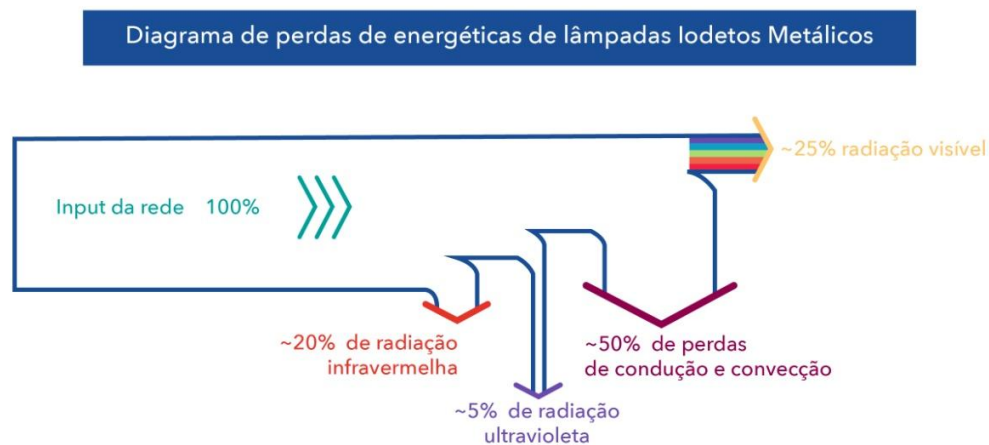


Figura 3-10- Diagrama de rendimento e perdas de lâmpadas de iodetos metálicos [13].

Na figura 3-11 está representado o espectro da lâmpada de iodetos metálicos CosmoWhite CPO-TW.

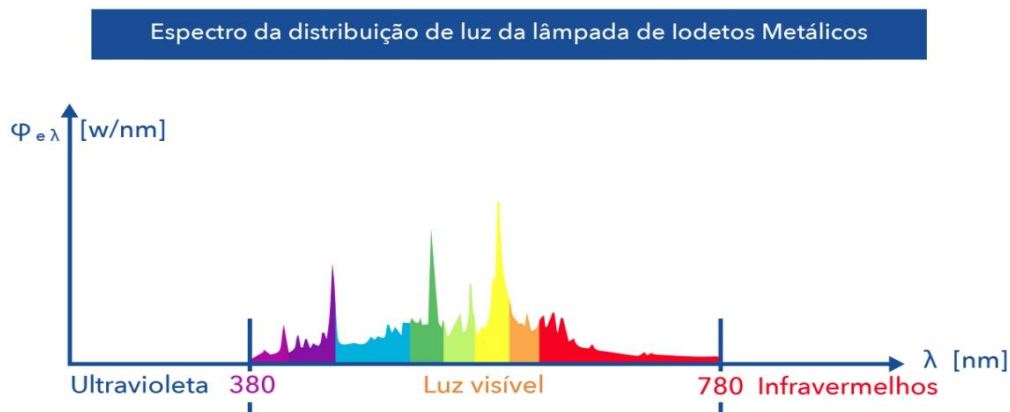


Figura 3-11- Espectro de lâmpada de iodetos metálicos CosmoWhite CPO-TW [20].

3.2.2.3 - LED

O LED define-se como um dispositivo eletrónico semiconductor designado por díodo emissor de luz. Trata-se de um componente eletrónico que tem a propriedade de transformar a energia elétrica em luz. Este componente é bipolar composto por dois terminais, ânodo e

cátodo, (figura 3-12). Dependendo do sentido de polarização, permite ou não a passagem da corrente elétrica e, conseqüentemente, a geração ou não de luz.

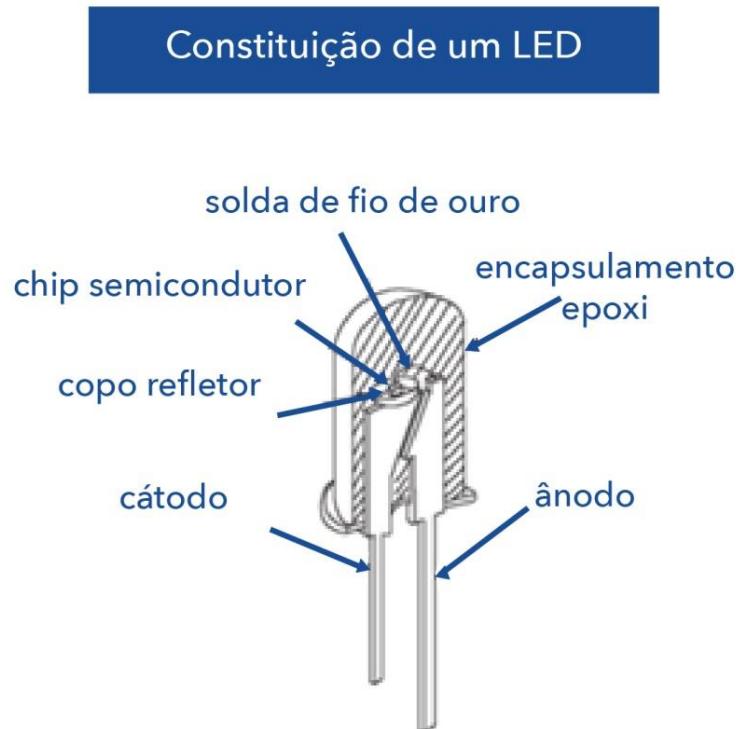


Figura 3-12- Estrutura de um LED [23].

O processo de luz emitido pelo LED é designado por eletroluminescência. A luz por ele emitida advém duma banda de cores estreita. A cor obtida depende do cristal e da impureza de dopagem com os quais o componente é fabricado.

Com a diminuição do custo e através da alta eficiência, aliados a uma longa durabilidade da tecnologia, estes fatores fizeram com que o LED se tornasse numa alternativa válida para a substituição das tecnologias convencionais.

O funcionamento do mesmo necessita de uma fonte de alimentação especial, designada por *driver*. Este funciona como um conversor AC/DC (Retificador) que converte a tensão alternada da rede em tensão contínua.

Uma outra gama existente, são os leds brancos com aplicação em IP, também conhecidos como RGB, e que são constituídos por três *chips*: um vermelho, um verde e um azul. De referir, ainda, a existência dos RGB com um microcontrolador integrado, o que permite a obtenção de um elevado número de cor de luzes utilizando apenas um LED [24].

Na figura 3-13 está representado um exemplo de luminárias LED Senso 2, utilizadas para iluminação pública.



Figura 3-13- Exemplos de tipos de luminárias LED para IP [25].

As principais características das lâmpadas LED são [26]:

- Emissão de radiação das três cores primárias.
- Rendimento luminoso na gama de 60 a 100 lm/W.
- IRC, superior a 75.
- Temperatura de cor de 3000 a 6000 °K.
- Tempo de vida útil, 30000 a 60000.
- Tempo de arranque praticamente instantâneo.
- Necessidade de aparelhagem auxiliar, *driver* e fonte de alimentação DC.
- Custo elevado.

Na figura 3-14 está representado o espectro eletromagnético da lâmpada LED, juntamente com as curvas de sensibilidade do olho. A energia mostra a energia da cor da luz assim como a sua localização no espectro visível.

Espectro da distribuição de luz da lâmpada LED

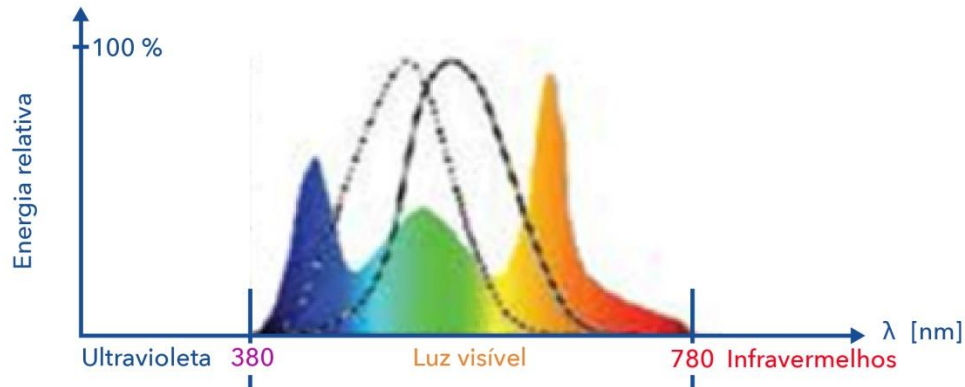


Figura 3-14- Espectro eletromagnético da lâmpada LED [21].

3.2.2.3.1 - Vantagens da tecnologia LED

O LED quando comparado com outro tipo de tecnologias apresenta as seguintes vantagens [23]:

- **Eficiência**, revela maior eficiência do que as tecnologias de incandescência e halógena, atualmente muito próximo da eficiência das fluorescentes.
- **Maior tempo de vida útil**, dependendo da aplicação, a vida útil do equipamento é longa e não existe necessidade de troca, considerando-se como vida útil uma manutenção mínima de luz igual a 70%, após 50 mil horas de uso.
- **Custos de manutenção reduzidos**, os LEDs apresentam tempos de vida útil longos e apresentam custos de manutenção reduzidos.
- **Baixa tensão de operação**, devido à baixa tensão de operação, não apresenta perigo para o instalador.
- **Resistência a impactos e vibrações**, resistente a impactos e vibrações por ser uma tecnologia de estado sólido, portanto sem filamentos, aumentando a sua robustez.
- **Controle dinâmico da cor**, com este tipo de controle obtém-se um espectro variado de cores, incluindo várias tonalidades de branco, permitindo um ajuste adequado da temperatura para a cor desejada.
- **Acionamento instantâneo**, mesmo a funcionar com temperaturas baixas.

- **Controle de intensidade variável**, sendo este fluxo luminoso regulável em função da variação da corrente elétrica aplicada, permite um ajuste da intensidade de luz da luminária.
- **Cores vivas e saturadas sem filtros**, emite cores vivas e saturadas sem filtros, de comprimento de onda monocromático, emitindo luz na cor adequada, tornando-a mais viva e saturada. Os LEDs coloridos dispensam a utilização de filtros que causam perda de intensidade e provocam uma alteração na cor, principalmente em luminárias externas em função da ação da radiação ultravioleta.
- **Luz direta, aumento da eficiência do sistema**, ainda que não seja a fonte luminosa mais eficiente, existem luminárias com alta eficiência, em função da possibilidade de direcionamento da luz emitida pelo LED.
- **Ecologicamente correto**, não utiliza metais pesados ou quaisquer outros elementos prejudiciais à natureza.
- **Ausência de ultravioleta**, não emitem radiação ultravioleta, ideais para espaços onde este tipo de radiação seja inconveniente.
- **Ausência de infravermelho**, não emitem radiação infravermelha, tornando o feixe luminoso numa luz fria.

3.3 - Aparelhagem auxiliar

3.3.1 - Balastro

Este dispositivo elétrico tem como objetivo ser um limitador de corrente, nomeadamente em lâmpadas de descarga, lâmpadas de estado sólido e outros dispositivos que têm de limitar a intensidade da corrente elétrica. Os principais tipos de balastros utilizados são o eletromagnético e o eletrónico.

Neste contexto, porque as lâmpadas de descarga não podem ser ligadas diretamente à rede, necessitam de sistemas auxiliares de arranque [20], [27].

3.3.1.1 - Balastro Eletromagnético vs. Balastro eletrónico

Os balastros eletromagnéticos são constituídos, essencialmente, por um grande número de espiras em cobre sobre um núcleo ferromagnético laminado. No entanto, as perdas de Joule que ocorrem no cobre e as perdas magnéticas (histerese e correntes de Foucault) no núcleo ferromagnético implicam um consumo adicional entre 5% a 25% da

potência da lâmpada. Este valor irá depender da dimensão e construção dos circuitos elétrico e magnético [3].

Os balastros eletrónicos apareceram no início dos anos 80 do séc. XX, e são conversores de eletrónicos de potência (AC-DC-AC). Podem ser de baixa frequência, entre 50 e 500 Hz, ou de alta frequência, entre 20 e 60 kHz [3].

A alimentação por uma tensão de alta frequência permite eliminar totalmente o fenómeno de cintilação e o efeito estroboscópico, com a vantagem de aumentar o rendimento das lâmpadas em cerca de 10%, bem como o seu tempo de vida útil [3].

3.3.1.2 - Balastro Eletromagnético

Na tabela 3-1, apresenta-se as vantagens e desvantagens da utilização do balastro eletromagnético:

Tabela 3-1- Vantagens e desvantagens do balastro eletromagnético [3].

Vantagens	
Custo bastante reduzido	simplicidade e robustez
Desvantagens	
Dimensões e peso	rendimento médio/baixo devido a perdas eléctricas e magnéticas
Baixa fiabilidade na ignição. Se o pico de tensão não ocorrer no ponto óptimo, a lâmpada poderá não arrancar	dificuldade de regulação do fluxo luminoso, só podendo ser efectuada através de balastros de duplo nível
Factor de potência baixo, sendo necessário condensadores para compensá-lo	risco de sobreintensidades, devido ao efeito de saturação do balastro
Uma variação de $\pm 10\%$ na tensão da linha causa uma variação de $\pm 20\%$ de potência da lâmpada	

3.3.1.3 - Balastro eletrónico

Na tabela 3-2, apresentam-se as vantagens e desvantagens da utilização do balastro eletrónico.

Tabela 3-2- Vantagens e desvantagens do balastro eletrônico [3].

Vantagens	
menor potência de perdas	estabilidade da potência perante variações de tensão na rede
proporcionam uma poupança energética de 20 a 30%. Aumentam o rendimento das lâmpadas em cerca de 10%	dimensão e peso reduzidos
sistemas de protecção incluídos, sendo que o balastro desliga automaticamente em caso de avaria	estabilidade de cor e fluxo luminoso
podem operar várias lâmpadas em simultâneo, enquanto os eletromagnéticos só podem operar no máximo duas	funcionamento silencioso
os arranques suaves permitem que as lâmpadas tenham maior tempo de vida	
Desvantagens	
preço mais elevado	impossibilidade de instalação de reguladores de fluxo de cabeceira
problemas de sincronismos horários	
o não sincronismo dos balastros poderá provocar desalinhamento nas instruções on-off e temporização de regulação do fluxo	produzem uma maior poluição da rede local de operação por funcionarem a uma frequência igual ou superior a 20 kHz
	interferências elétricas e eletromagnéticas

3.3.2 - Condensador

Em circuitos de IP, o condensador é um dispositivo elétrico utilizado em paralelo no circuito do balastro e tem a função de aumentar o fator de potência, tipicamente baixo, na ordem dos 0,4 a 0,5, compensando a energia reativa absorvida pela indutância do balastro [3].

3.3.3 - Ignitor

É um componente eletrónico usado em IP, com várias funções. Utiliza-se no pré-aquecimento dos elétrodos da lâmpada, gerando impulsos de tensão de modo a proporcionar

o início da descarga elétrica. Utiliza-se também quando ocorre algum problema com a lâmpada ou com o circuito, repetindo-se ciclicamente o processo até que a lâmpada se acenda.

Este fenómeno, conhecido como *"ballast cycling"*, poderá ser causado por [3]:

- Utilização de lâmpada com potência desajustada.
- Lâmpadas em final de vida.
- Tensão de alimentação incorreta.
- Elevada temperatura envolvente.
- Fase inicial de falhas do balastro.

3.3.4 - Drivers de LEDs

Entende-se por Driver de LED todo o circuito controlador dos LED. Tem como função principal efetuar a conversão da energia elétrica da rede, em tensão contínua, por forma a alimentar todos os componentes eletrónicos da luminária de LED. Tem ainda a função de controlar a corrente fornecida nos vários modos de funcionamento dos LED [3].

Existem dois tipos de drivers de LED, o de corrente constante que alimentam os LED que necessitam de uma corrente de saída fixa e de uma gama de tensões de saída e o de tensão constante que alimentam os LED que necessitam de uma tensão de saída fixa com uma corrente de saída máxima.

O rendimento dos drivers é variável. O driver de baixa potência do tipo corrente constante, tem rendimentos desde 74%, enquanto o driver do tipo tensão constante atinge valores de 95%. A maioria dos drivers apresenta um rendimento na casa dos 80-90%, sendo que a maior parte das suas perdas verificam-se nos semicondutores de potência, embora o seu desempenho esteja a melhorar [3].

Em termos de durabilidade, qualquer driver de LED atual para IP deve ter como objetivo um tempo de vida útil no mínimo de 50 a 65 mil horas, por forma a equiparar-se ao tempo de vida atual do LED [3].

O tempo de vida do driver depende da temperatura. Quanto mais elevada for a temperatura de funcionamento, menor será o tempo de vida dos componentes críticos, nomeadamente os condensadores eletrolíticos e dos semicondutores de potência [3].

3.4 - Luminárias

A diversidade de luminárias é uma realidade no âmbito da IP, sendo, pois, inúmeras as hipóteses de conjugação ao nível da escolha dos materiais, dos requisitos funcionais e económicos, pelo que se deve ter em conta vários aspetos na sua escolha [3].

A luminária, para além de sustentar a fonte de luz e garantir a alimentação elétrica, deve [3]:

- Dirigir o fluxo luminoso, assegurando conforto visual com uma eficiência máxima.
- Evitar o encandeamento.
- Satisfazer as especificações elétricas e mecânicas que garantam a segurança e o bom funcionamento.
- Proteger os dispositivos elétricos e óticos, bem como a fonte luminosa, de possíveis agressões externas, nomeadamente atmosféricas.
- Promover a dissipação de calor.

3.4.1 - Constituição

Uma luminária de IP é um conjunto ótico, elétrico e mecânico, constituído pelo sistema ótico, corpo, e pelo suporte para equipamento.

3.4.2.1 - Sistema ótico

O sistema ótico de uma luminária convencional controla e distribui o fluxo luminoso da fonte de luz e pode incluir os seguintes componentes [3].

- **Os refletores**, dirigem a luz para o ângulo sólido, orientando o fluxo luminoso na direção desejada. A eficiência do refletor irá variar consoante a relutância e a resistência do material utilizado.
- **Os difusores**, dispositivos caracterizados pela sua elevada transmitância, proporcionam a estanquicidade do sistema ótico. Têm também como função variar a distribuição espacial do fluxo luminoso emitido por uma fonte luminosa, melhorando o conforto visual.
- **Os refratores**, que utilizam o princípio da refração dos corpos transparentes, direcionam também o fluxo luminoso. São normalmente de vidro ou de material plástico, suficientemente resistentes a choques mecânicos e térmicos que

eventualmente ocorram na vida útil da luminária, conservando o seu aspeto estético e funcional.

3.4.2.2 - Corpo

O corpo da armadura ou carcaça pode ser simples ou formado por vários elementos dissociáveis. As suas formas, dimensões e disposições construtivas devem ter em atenção o tipo e a potência das lâmpadas, a estética e as condições de funcionamento, para que se consiga [3]:

- Substituir facilmente a fonte de luz.
- Proteger convenientemente as fontes luminosas e outros equipamentos elétricos auxiliares.
- Assegurar uma boa resistência à corrosão, aos choques mecânicos e às vibrações.

3.4.2.3 - Suporte

O suporte das lâmpadas deve assegurar, em diferentes condições de utilização, a posição correta da fonte luminosa e possuir um contacto elétrico eficiente, particularmente quando as luminárias são sujeitas a vibrações [3].

3.4.3 - Apoios

Os apoios, ou suportes para as luminárias, dividem-se em três tipos:

- Postes ou Colunas de Iluminação.
- Cabos de Suspensão.
- Braços em Fachadas de Edifícios.

3.4.3.1 - Postes ou Colunas de Iluminação

Os postes e as colunas de IP têm por norma um tempo de vida superior a 50 anos, são geralmente de aço, liga de alumínio ou de betão [3].

Deverão apresentar as seguintes características:

- Boa resistência a esforços, resultantes da ação do vento e choques mecânicos.
- Boa resistência às intempéries e à corrosão.

- Manutenção fácil e barata.
- Espaço suficiente para a colocação.
- Acesso fácil da aparelhagem de proteção.



Figura 3-15- Exemplos de postes e colunas de iluminação [3].

3.4.3.2 - Cabos de Suspensão

São utilizados em casos especiais, como por exemplo em vias muito estreitas, uma vez que, têm as seguintes desvantagens:

- Inestéticos.
- De difícil manutenção.
- Expõem as armaduras à ação do vento.



Figura 3-16- Exemplo de cabo de suspensão [3].

3.4.3.3 - Braços em Fachadas de Edifícios

Os postes e a sua colocação acarretam custos elevados e podem dificultar a circulação dos peões nos passeios. Neste sentido, convém analisar o compromisso técnico e estético, nos locais para onde estão projetados.

Os requisitos que se devem ter em conta na opção de instalação de braços em fachadas de edifícios são [3]:

- Ausência de árvores de grande porte.
- Presença ao longo das vias de edifícios suficientemente altos e de construção robusta.
- A largura de fachada a iluminar, não deve ultrapassar os 20 metros.



Figura 3-17- Exemplos de luminárias em fachadas [3].

3.5 - Eficiência luminosa de diferentes tipos de tecnologias

O gráfico da figura 3-18, representa a evolução temporal da eficácia energética de diferentes tecnologias de fontes de luz, bem como a evolução da eficiência luminosa prevista para os próximos anos.

A eficácia luminosa indica a eficiência com a qual a energia elétrica consumida é transformada em luz. Por observação, constata-se que as tecnologias derivadas dos LEDs destacam-se sobre as restantes, concluindo-se que são dotadas de uma maior eficiência luminosa e maior capacidade de crescimento a esse nível [21].

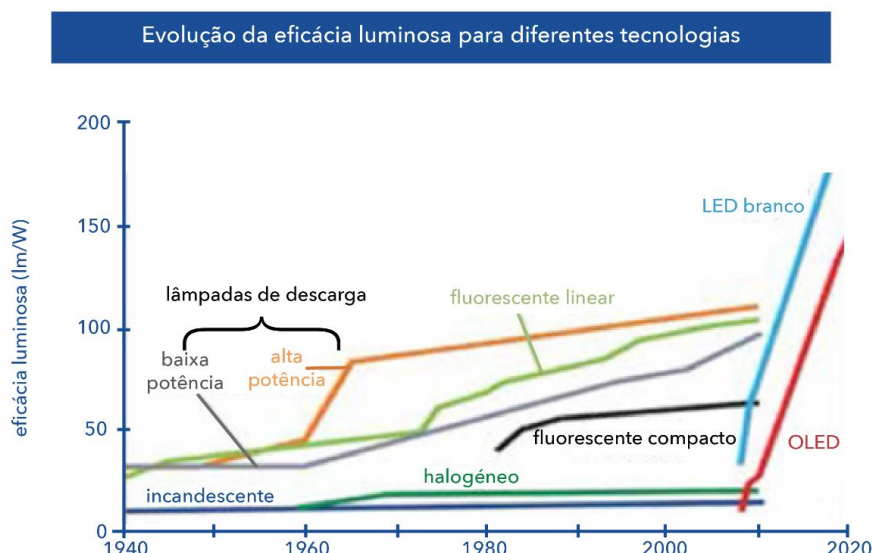


Figura 3-18- Histórico e projeção para diferentes tecnologias de fontes de luz [21].

3.6 - Conclusão

Neste capítulo apresentaram-se as tecnologias mais importantes de IP, nomeadamente as suas características de consumo e luminosidade. De acordo com as especificações do projeto a implementar, dever-se-á optar pela tecnologia que se revele mais eficiente.

A secção relativa às lâmpadas foi dividida em duas partes: tecnologias antigas, onde se destacaram as lâmpadas incandescentes e lâmpadas de vapor de mercúrio. Daqui se ressalva que a lâmpada de incandescência foi a primeira tecnologia utilizada em IP, e está atualmente em desuso, em virtude de apresentar o pior rendimento quando comparada com as restantes tecnologias.

Na área das tecnologias atuais, enumeraram-se as lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão, a tecnologia que apresenta maior expressão no sistema de IP nacional, e os iodetos metálicos.

Procedeu-se ainda nesta secção, a uma caracterização da tecnologia LED, que se revela como a escolha mais adequada em grande parte dos projetos, devido aos baixos consumos apresentados.

Seguidamente, e tendo em conta que parte dos equipamentos ao dispor da IP necessitam de aparelhagem auxiliar para ligação à rede, foram referidos os mais relevantes para as tecnologias supracitadas. Neste contexto, destacam-se o balastro, dispositivo limitador de corrente para lâmpadas de descarga, o condensador, dispositivo que corrige o FP, o ignitor, que tem como função o pré-aquecimento da lâmpada e o driver, o circuito controlador dos LED, que tem como função principal efetuar a conversão da energia elétrica

da rede, em tensão contínua, por forma a alimentar todos os componentes eletrónicos da luminária de LED.

Finalmente, caracterizaram-se diferentes tipos de luminárias presentes no IP, sendo que todas têm em comum os seguintes sistemas: ótico, elétrico e mecânico para suporte do equipamento.

Capítulo 4

Sistemas de Controlo de Gestão de IP

Neste capítulo analisam-se os sistemas de controlo e gestão de IP, para que tenham uma gestão energética eficiente.

O desenvolvimento da tecnologia LED, com a facilidade e versatilidade de controlo deste tipo de fonte luminosa, em relação às tecnologias convencionais, ainda hoje as mais frequentes nos sistemas IP, originou uma série de novas estratégias para o controlo e gestão energética.

A crise económica, o sobre-endividamento dos municípios e as preocupações ambientais aliados à necessidade da redução da fatura energética, levaram à procura de novas soluções com vista a um aproveitamento mais eficiente do sistema IP. Neste contexto, a tecnologia LED surge como uma forte opção ao desempenho deste papel [28].

Em geral, as soluções encontradas passam pela substituição parcial das tecnologias convencionais, como a troca das luminárias, ou substituição total das tecnologias antigas por tecnologias mais eficientes.

4.1 - Medidas de eficiência na IP

Por forma a alcançar melhores níveis de eficiência energética, para além da substituição de tecnologias atuais por tecnologias mais eficientes, dever-se-ão adotar melhores práticas no que concerne à gestão e exploração das redes de IP.

Neste sentido, é fundamental implementar estratégias que conduzam a uma maior eficiência energética sem, contudo, comprometer os níveis de iluminação exigidos nas normas vigentes.

Com este objetivo, enumeram-se as seguintes medidas que devem ser tidas em consideração [29]:

- O nível de iluminância deve ser adequado à densidade de tráfego e à circulação de peões, pelo que se deverão utilizar balastros eletrónicos que permitam a regulação de fluxo das luminárias. Com a implementação desta medida é possível atingir níveis de poupança energética na ordem dos 30% a 40%.
- Ajustar o sistema de comando da iluminação ao horário das quatro estações do ano. A falta de coordenação entre a luz natural e a luz artificial (acendimento precoce da iluminação/apagamento tardio), tem como consequências o desperdício de energia e a menor durabilidade de vida das lâmpadas.
- Adequar os níveis de iluminação pública ao tráfego existente, uma vez que os níveis de iluminação exigidos em horas de maior afluência não são idênticos aos exigidos nas horas de menor afluência.
- A redução de potência de lâmpadas de descarga nas horas de vazio, obtida mediante utilização de balastros eletrónicos.
- Implementar a utilização de sensores de movimento nas redes IP pois permite uma maior economia no consumo, uma vez que quando não é detetado movimento na via, o fluxo diminui para cerca de 40%.
- Controlar e monitorizar a tensão e corrente da lâmpada possibilita prever com antecedência de meses, o momento da substituição da mesma.

4.1.1 - Desligar os circuitos de IP

Em Portugal, desligar as luminárias apresenta-se como a principal medida implementada no sentido de diminuir os custos de energia com as redes de IP. Esta solução passa por desligar da rede parte das luminárias, sendo comum manter alternadamente uma luminária ligada e a seguinte desligada. Outra alternativa passa por desligar circuitos de iluminação inteiros em ruas, aldeias ou outros aglomerados populacionais.

Este tipo de estratégia, pese embora permitir níveis de poupança energética, não deve ser encarado como uma boa solução a longo prazo de eficiência energética [20].

Esta medida não deve ser uma solução recorrente, sob pena de violação dos critérios de segurança das vias a que se referem e das características de iluminação exigidas para a zona a iluminar [29].



Figura 4-1- Autocolante da EDP para o programa "foco desligado" [20].

4.1.2 - Manutenção dos sistemas de iluminação

A manutenção da IP apresenta-se como um desafio devido à complexidade do sistema, constituído por um grande número componentes integrantes da rede. Os sistemas de IP deterioram-se ao longo do tempo, em virtude da acumulação de poeiras e lixo nas superfícies expostas da rede pelo que é necessária uma manutenção, devidamente planeada.

Uma manutenção regular do sistema de IP revela-se fundamental por forma a permitir não só um funcionamento adequado da rede em termos de eficiência energética como o aumento de tempo de vida útil dos componentes integrantes, assegurando o bom estado das infraestruturas e segurança para os utilizadores [28].

A limpeza periódica das armaduras pode aumentar a eficiência do sistema em cerca de 10% a 30%, e a substituição periódica das lâmpadas entre 20% a 25% [29].

A manutenção inadequada das luminárias origina a diminuição da duração média de vida das lâmpadas e da aparelhagem auxiliar e, conseqüentemente, provoca um aumento da fatura energética e dos custos de manutenção associados, bem como uma depreciação do fluxo luminoso em valores que podem ultrapassar os 40% [29].

Durante a vida útil de uma instalação de iluminação pública, os custos com a manutenção rondam os 50%, conforme ilustrado na figura 4-2.

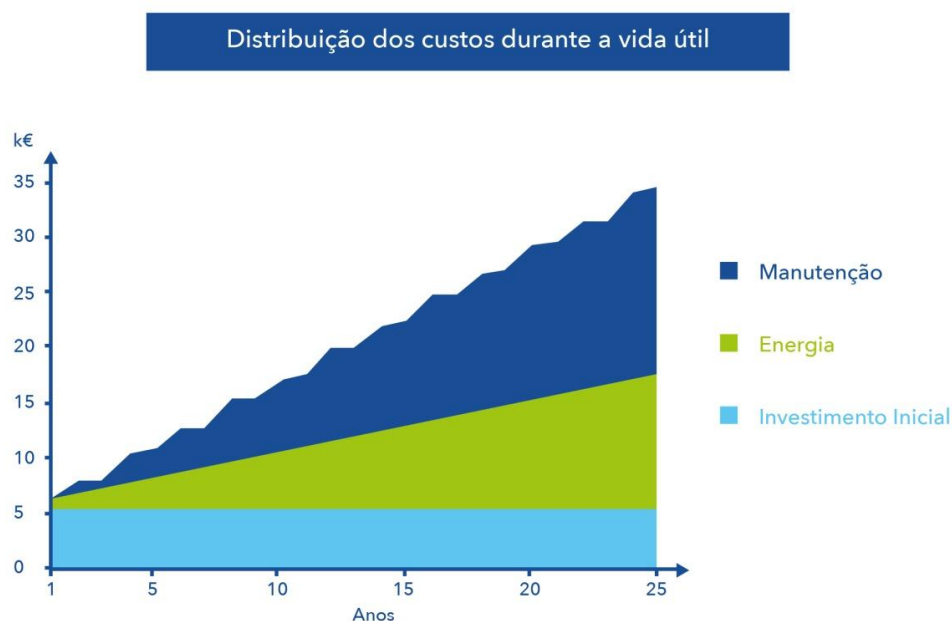


Figura 4-2- Distribuição dos custos durante a vida útil [29].

Sendo que o depósito de poeiras nos equipamentos, conjuntamente com o envelhecimento normal dos mesmos, provoca uma diminuição do fluxo luminoso emitido, e consequentemente o decréscimo do nível de iluminação, para a sua minimização, torna-se imprescindível realizar uma manutenção adequada da rede IP.

A título de curiosidade, refere-se que existem luminárias que exigem níveis mínimos de manutenção, como as luminárias auto ventiladas, que evitam a acumulação de sujidade nas superfícies óticas [29].

4.1.3 - Substituição de equipamentos antigos por equipamentos mais eficientes

Por forma a obter uma máxima eficiência ao nível de redes de IP, dever-se-á substituir a tecnologia de lâmpadas convencionais, por outra tecnologia que revele o mesmo índice de luminância e uma eficiência energética superior.

Exemplo disso, foi a substituição de tecnologias obsoletas que tem vindo a ser realizada ao longo dos últimos anos, mais concretamente, através da instalação de tecnologia LED em detrimento da tecnologia de HID. Esta substituição permite uma maior eficiência energética, uma vez que a poupança de energia na tecnologia LED é superior.

Em simultâneo, procedeu-se à substituição dos balastros eletromagnéticos por balastros eletrónicos, conduzindo a um aumento da eficiência das lâmpadas em cerca de 20% e, consequentemente, a uma maior poupança energética. Este tipo de equipamento permite ainda a regulação do fluxo luminoso [28].

4.2 - Controlo em IP

Os sistemas de controlo caracterizam-se por serem uma série de dispositivos interligados que regulam a operação do sistema IP, em resposta a um sinal de comando externo. Têm como objetivo otimizar a utilização da rede controlada, resultando assim uma economia energética, sem colocar em causa o nível de conforto e segurança do local ou da atividade [3].

A instalação de um sistema de controlo na rede IP deve ser devidamente planeada de forma a responder a vários aspetos, tais como condições climatéricas adversas, fuso horário, ou ter em consideração o facto de a hora do nascer e do pôr-do-sol não serem constantes, para permitir uma utilização eficiente do sistema IP que está a ser controlado [3].

Refere-se, a título de exemplo, que no sistema de IP as variáveis de entrada, entre outras, são as condições atmosféricas e a presença de movimento, enquanto as de saída são o tempo de utilização e a intensidade de iluminação [30].

Alguns sistemas de controlo têm como função dotar as luminárias de autonomia na gestão de energia. Deste modo, uma luminária constituída com uma unidade de controlo pode regular o fluxo luminoso numa vasta gama de intensidades, bem como o tempo que permanece ligada.

Acrescente-se que o controlo pode efetuar-se de várias formas, de acordo com os requisitos do sistema IP a aplicar, uma vez que podem ser aplicados para um grupo de luminárias ou de forma individual. No entanto, esta última opção revela-se na maioria das vezes mais dispendiosa [30].

4.2.1 - Arquiteturas de controlo em IP

A organização do sistema de controlo depende das necessidades e especificidades do local da instalação, por forma a uma gestão eficiente dos recursos disponíveis.

O esquema representado na figura 4-3, apresenta as várias topologias utilizadas nos sistemas de controlo da IP.

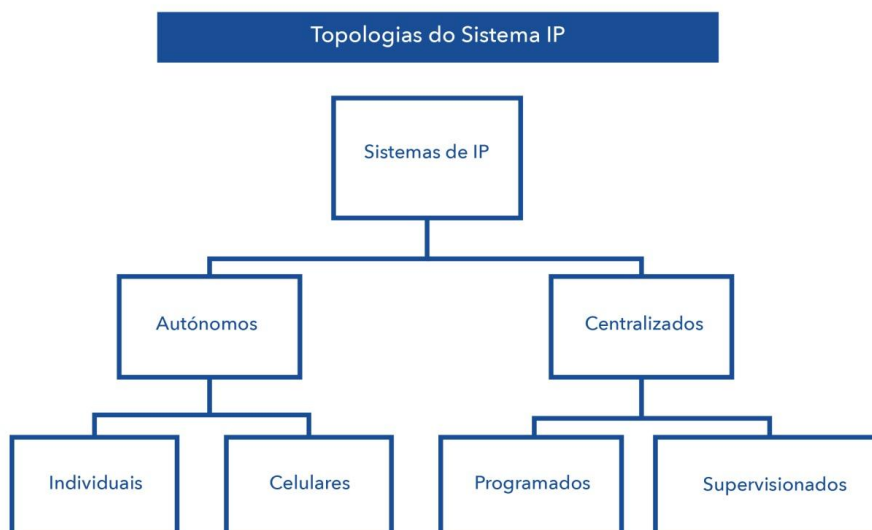


Figura 4-3- Topologias do sistema IP [30].

Relativamente às áreas de controlo no sistema IP, há que considerar duas formas distintas de controlo: autónomo e centralizado.

O controlo autónomo é uma solução de gestão, onde cada luminária está dotada de uma unidade de controlo integrada, que permite a gestão independente de cada ponto de iluminação. Estes sistemas celulares têm a possibilidade de comunicação entre sistemas vizinhos.

No controlo centralizado, a gestão de energia é feita por uma unidade central comum a um grupo de pontos de iluminação, que terá um comportamento uniforme em toda a zona de ação.

Refira-se que nos dois tipos de controlo, poder-se-á incorporar uma unidade remota de comunicação. Relativamente à gestão remota, esta, permite a possibilidade de controlar e executar à distância procedimentos ou tarefas necessárias para o correto funcionamento do sistema de IP [30].

4.2.2 - Opções de controlo energético

Na atualidade, a maioria do sistema IP português encontra-se dotado de um controlo passivo, que se define por ser um sistema de iluminação cujo controlo é realizado através de sensores de luminosidade ou horários. Tal facto, deve-se à grande maioria do sistema de IP ser constituído por tecnologia de vapor de sódio de alta pressão, revelando dificuldades na regulação do fluxo luminoso.

Com a integração da tecnologia LED, ainda que ainda minoritária no sistema, mas com grandes potencialidades ao nível do controlo, a iluminação passa a ser comandada

através de um controlo ativo. Este sistema de controlo é composto por sistemas de gestão de energia, dotados de vários sensores integrados no sistema e comandados por uma unidade central. Tem como funções uma melhor regulação do fluxo luminoso, tal como decidir quanto tempo as luminárias comandadas permanecerão ativas [30].

4.3 - Sistemas de controlo e gestão

4.3.1 - Relógios crepusculares

O relógio crepuscular é um dispositivo eletrónico com um funcionamento automático, que utiliza para o cálculo da fórmula astronómica variáveis como as coordenadas geográficas do local onde este se encontra instalado, a data e hora do nascer e do pôr-do-sol, ativando os seus contactos de saída [3], [31].

As características do relógio são apresentadas na tabela 4-1.

Tabela 4-1- Características técnicas gerais dos relógios [31].

Alimentação Tensão de alimentação Frequência	(EN 50160) 230 V \pm 10% 50 Hz
Contato de saída Nº de contactos de saída Classe de contactos de saída Tensão estipulada de emprego. U _e Corrente estipulada de emprego. I _e Tipo de contato de saída	(IEC 60947 5-1) 1/2 AC-15 250V 3 A
Reserva de Marcha	24h
Desvio horário ¹⁾	6,1 min/ano e \pm 1 s/dia
Acesso / selagem	Senha de acesso à programação do relógio ou um sistema que permita a selagem do mesmo de modo a inibir o acesso às teclas.
Parametrização / Programação	a) O relógio astronómico deve ser facilmente parametrizável sem recurso a qualquer software e hardware. b) O relógio astronómico deve ser programável. (*)
Comando manual	Comando manual que permite abrir e fechar o relé de saída. Em caso de falha da alimentação, ou de avaria do relógio, o relé de saída deve voltar para a posição de aberto.
Mostrador	Digital
	Calha metálica de perfil normalizada do tipo TH 35-7,5 (calha DIN), de acordo com a norma EN 60715
(*) A programação deve possibilitar a interrupção noturna num dado período seleccionado.	

Estes equipamentos são programados por forma a permitirem a ligação aquando do pôr-do-sol e desligam aquando o nascer do sol.

A título de exemplo, no sistema IP português, os relógios crepusculares são programados para se ligarem 15 minutos após o ocaso e desligarem 30 minutos antes do amanhecer, deste modo obtém-se uma maior poupança energética [3], [28].

A tabela 4-2 mostra o horário de funcionamento de um relógio crepuscular localizado numa rede IP situado no hemisfério norte.

Tabela 4-2- Período de funcionamento de uma rede IP no hemisfério norte [3].

		horário de funcionamento (h)														
		17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7
Hemisfério Norte	Primavera															
	Verão															
	Outono															
	Inverno															

Estes relógios têm, nomeadamente, as seguintes características de funcionamento:

- Cálculo diário, para as ações ligar ou desligar, de acordo com a latitude e longitude, dado em graus e minutos, do local da instalação, válidos para qualquer zona geográfica, independentemente do hemisfério, necessitando apenas de os programar previamente.
- Alteração automática do horário de inverno e de verão.
- Possibilidade de vários tipos de programação [3].

Esta tecnologia, tal como os sensores crepusculares, poderá funcionar como sistema de controlo da rede de IP em modo isolado, ou integrada em sistemas mais complexos controlados por uma unidade central, sendo exemplo os reguladores de fluxo ou os sistemas de telegestão.

4.3.2 - Reguladores de fluxo

Os reguladores de fluxo caracterizam-se por serem dispositivos que possibilitam a regulação da intensidade luminosa, nomeadamente nos períodos de menor exigência de luminosidade.

Esta ferramenta pode integrar-se em sistemas mais complexos de telegestão, utilizando-se para tal, balastros eletrónicos reguláveis, para luminárias de HID, drivers com

regulação de fluxo, para luminárias LED, ou então, de maneira centralizada, num dispositivo à saída do PT [3].

Um regulador de fluxo à saída do PT controla o fluxo de todas as luminárias de uma rede de IP aí situada, que deverá ser programado de acordo com a estação do ano, por forma a obter uma regulação de fluxo adequada. Uma das vantagens deste equipamento são os níveis de poupanças energéticas que permitem obter. Em contrapartida, tem a desvantagem, perante um circuito onde as lâmpadas não sejam todas do mesmo tipo, de apresentar uma regulação desajustada e consequentemente níveis de poupanças baixos.

Para tecnologia de lâmpadas de HID poder-se-ão obter poupanças energéticas até 50%, cumprindo-se os limites de tensão impostos pelo fabricante da lâmpada, de maneira a não prejudicar o seu funcionamento.

No que respeita a reguladores de fluxo as suas funções são a de possibilitarem a variação da intensidade luminosa e a estabilização da tensão. Esta última, aumenta o tempo de vida útil da lâmpada e reduz os custos com a manutenção, assegurando economias diretas no consumo de 5% a 7%, ao fazer a regulação da tensão que excede o seu valor nominal [3].

A tabela 4-3 mostra a poupança energética conseguida com recurso a regulação de fluxo para vários tipos de lâmpadas.

Tabela 4-3- Poupança energética com recurso a regulação de fluxo [28].

Tipo de Lâmpada	Tensão Mínima	Poupança Energética
HPM	200 V	26 % - 30 %
HPS	183 V	45 % - 50 %
LPS	190 V	35 %
CFL	190 V	30% - 45 %
MH	183 V	40 %

4.3.3 - Sistemas de Telegestão

Os sistemas de telegestão são dispositivos informáticos usados na gestão, no controlo e na monitorização das redes de IP. Esta ferramenta de telecomunicação, possibilita a gestão à distância, controlando as luminárias individualmente ou em conjunto, permitindo um uso eficiente da energia, bem como uma gestão económica e estatística de um determinado sistema.

Através desta tecnologia é possível configurar com precisão e seletivamente a quantidade de luz necessária, tendo em consideração o local e os níveis de energia precisos para o sistema trabalhar correta e eficientemente [30].

A gestão técnica realiza-se através da análise de dados históricos com o objetivo de melhorar as condições técnicas e económicas da exploração. Esta gestão fornece também indicações acerca do tempo de utilização dos equipamentos e respetivo estado de funcionamento e fiabilidade, necessidades de expansão futura ou outras informações complementares que possam contribuir para um planeamento adequado e tomada de decisões sobre futuros investimentos [29].

De acordo com a literatura especializada, grande parte dos especialistas considera a telegestão como o futuro da iluminação pública. Estes sistemas baseiam-se, nomeadamente, na adaptação da luminosidade da via à quantidade de tráfego existente, associado a uma manutenção adequada e a uma gestão flexível e remota da iluminação pública, permitindo uma redução nos consumos até 40% [29].

Este sistema de controlo possibilita a supervisão e controlo à distância, de forma permanente e automatizada, reduzindo assim os custos de exploração e de manutenção e elevando também os níveis de qualidade do serviço.

Por forma a retirar o máximo rendimento deste sistema, torna-se imperativo o uso da tecnologia LED, pese embora a maior parte do sistema IP funcionar ainda com lâmpadas de HID. A utilização deste tipo de sistema de telegestão não deverá pôr em causa os requisitos mínimos inerentes a uma rede IP.

4.3.3.1 - Arquiteturas

A arquitetura de referência de um sistema de telegestão caracteriza-se pelos componentes apresentados nas figuras 4-4 e 4-5 [3]:

- **Controlador de Luminária (CL)**, que é um aparelho de controlo que opera através do balastro ou de um driver dependendo da tecnologia que se encontra a ser utilizada e que tem como função controlar a fonte de luz e todos os sensores existentes na luminária, proporcionando um sistema de iluminação dinâmico.
- **Controlador de Segmento (CS)**, que é um canal de comunicação das luminárias.
- **Sistema de Gestão Central (SGC)**, que é um sistema de controlo, que gere os vários segmentos do sistema de IP, tal como a informação transmitida pelos controladores, quer das luminárias, quer dos segmentos.

Nas figuras 4-4 e 4-5 representam-se duas arquiteturas de um sistema de telegestão, sem controlador de segmento e com controlador de segmento.

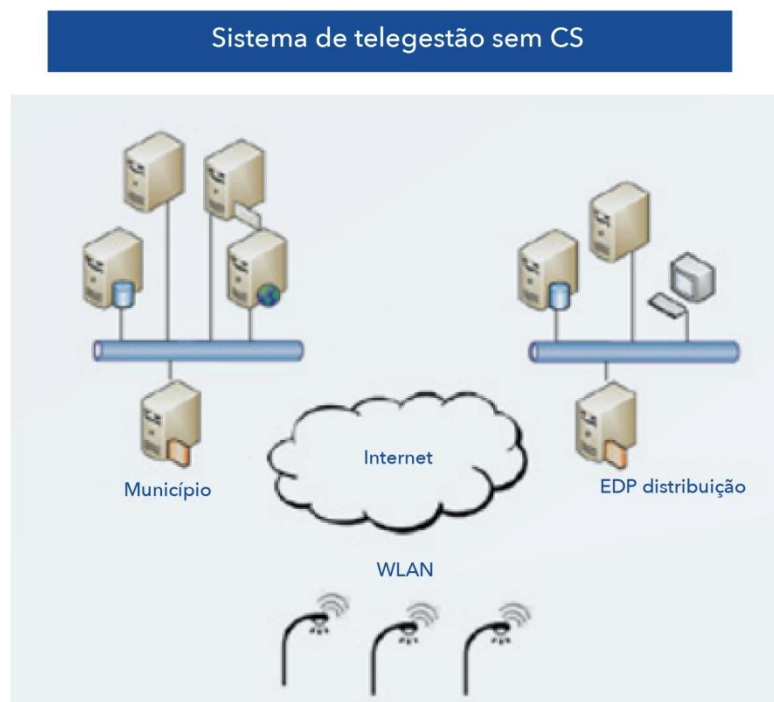


Figura 4-4- Componentes de um sistema de telegestão sem controlo de segmento [3].

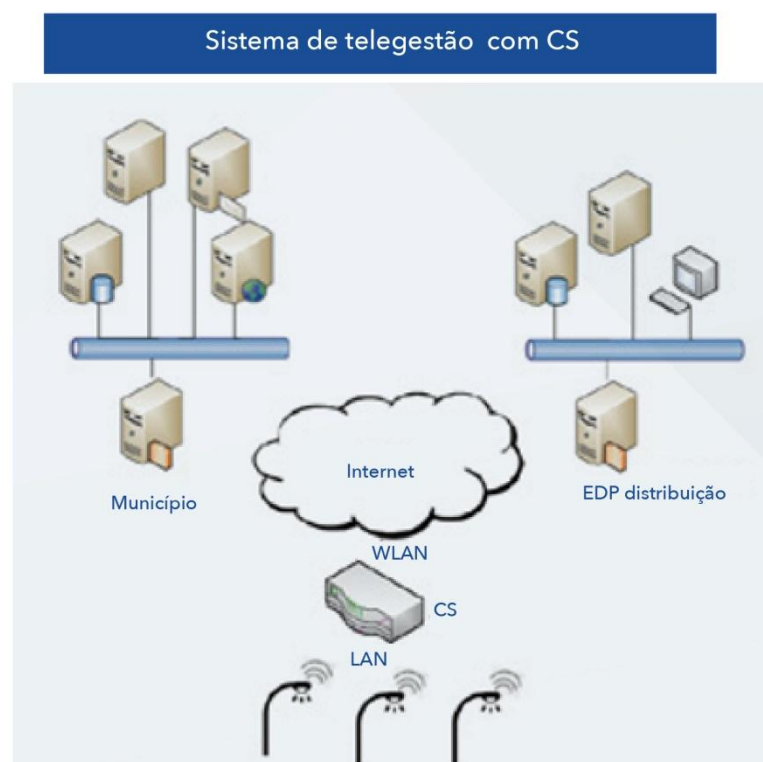


Figura 4-5- Componentes de um sistema de telegestão com controlo de segmento [3].

4.3.3.2 - Sistema de telegestão OWLET

A título de exemplo, refere-se o sistema de telegestão comercializado pela empresa belga Schröder, que disponibiliza um sistema de telegestão OWLET, que pode ser aplicado de várias formas com vista a obter uma maior poupança energética. Algumas das características disponibilizadas por este sistema são [28]

- **O fluxo Luminoso Constante (*Constant Lumen Output - CLO*)**, permite um controlo mais preciso do fluxo luminoso ao longo da vida útil da luminária, bem como o fornecimento da energia necessária para o correto funcionamento, situando-se a economia energética no intervalo de 8 a 10%.
- **A potência virtual de saída (*Virtual Power Output - VPO*)**, permite variação da intensidade luminosa de acordo com as necessidades do local, evitando o sobredimensionamento da iluminação, tendo em conta que as potências das lâmpadas são definidas pelos fabricantes, permitindo uma economia energética até 25%.
- **A saída seletiva e a dinâmica do lúmen (*Selective Dynamic Lumen Output - SDLO*)**, que permitem ajustar a intensidade luminosa em função da densidade de tráfego, através da regulação de fluxo, permitindo uma economia energética até 40%.

4.3.3.3 - Soluções Stand-Alone

Os sistemas *Stand-Alone* são adequados para zonas pedonais e parques, devido ao facto das luminárias serem compostas por um controlo independente. O controlo destas pode ser realizado por diversos tipos de sensores, como por exemplo os sensores de movimento.

Na figura 4-6, apresenta-se uma ilustração de uma zona pedonal que pretende representar este tipo de controlo, com a presença de movimentos. Os sensores da luminária onde se encontra o peão ativam a luminária para a capacidade máxima de iluminação, encontrando-se as restantes luminárias, com níveis inferiores de iluminação.

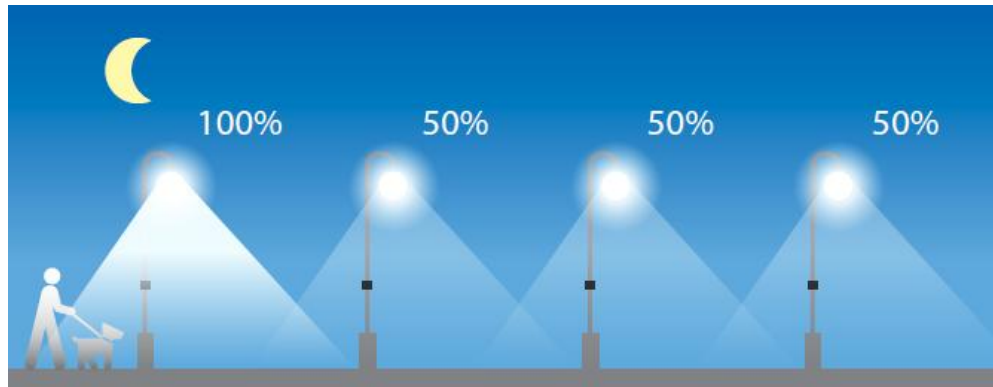


Figura 4-6- Exemplo de aplicação [32].

4.3.3.4 - Rede Autônoma

A rede autônoma caracteriza-se por ter uma maior flexibilidade e permitir uma maior interatividade entre os componentes do sistema em relação às soluções *stand-alone*.

Nestes sistemas, as luminárias têm capacidade de interagir e comunicar entre si, utilizando uma rede *wireless* independente, disponibilizando perfis dinâmicos de regulação da intensidade luminosa para as luminárias presentes na rede. Este recurso pode ser melhorado através da implementação de sensores de movimento, centrais ou individualizados [28].

A figura 4-7 mostra uma ilustração de uma rede IP, com comunicação *wireless* entre as luminárias.



Figura 4-7- -Comunicação *wireless* entre as luminárias [28].

4.3.3.5 - Rede Interativa

Esta rede interativa é composta por um computador central que recebe informação e controla todas as luminárias integrantes da rede de IP, possível através da interface web que gere individualmente cada luminária.

Neste contexto e a título de exemplo, destaca-se o *Owlet Nightshift*, um sistema de telegestão para a monitorização, controle, medição e gestão de uma rede de iluminação. Esta ferramenta, fornece soluções avançadas para gerir remotamente qualquer instalação de iluminação. A rede de iluminação é gerida através da internet recorrendo a um *browser*. Pelo facto de permitir uma comunicação bidirecional, é possível monitorizar a operacionalidade, o consumo e possíveis falhas de funcionamento [32].



Figura 4-8- Exemplo de funcionamento da rede interativa OWLET [32].

4.3.3.6 - Solução de telegestão integrada na arquitetura Inovgrid

A EDP Distribuição, de entre as várias soluções que dispõe no seu portefólio, apresenta a Arquitetura Inovgrid, no âmbito das *smart grids*, com o objetivo de automatizar e gerir a rede de maneira mais eficiente, melhorar a qualidade do serviço, diminuir os custos de operação e contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Integrada nesta arquitetura, surge a solução SMART-IP, que possibilita a monitorização, o controlo e a parametrização da IP, alicerçada em ferramentas como a EDP Box IP e em equipamentos de telecontagem.

A SMART-IP identifica-se como uma unidade de controlo e gestão da rede onde está instalada, permitindo, por um lado, a monitorização da IP ao receber alarmes de anomalias, disponibilizando relatórios e indicações sobre problemas que estão a afetar a rede. Por outro lado, permite a configuração dos horários que melhor se adequam às redes de IP, associados ao perfil do cliente.

A EDP Box IP (EB IP) define-se como um contador inteligente, utilizado exclusivamente para redes IP, permitindo para além da contagem, o uso de comandos para

ligar ou desligar a rede, incluindo ainda tabelas internas, algoritmos e funções específicas para gestão da IP [3].

A comunicação das EDP Box para as redes é realizada através de um concentrador, designado por DTC - *Distribution Transformer Controller*.

A figura 4-9, representa as três fases para que se realize a parametrização de circuitos de IP através da solução SMART-IP.



Figura 4-9- Etapas para parametrização de circuitos da IP, utilizando a SMART-IP [3].

4.4 - Integração das renováveis na IP

Atualmente os sistemas de IP integram tecnologias mais avançadas, eficazes e sustentáveis, comparativamente às utilizadas num passado próximo. A título de exemplo destacam-se os painéis fotovoltaicos, inseridos na luminária que permitem gerar energia, armazená-la em baterias ou inseri-la na rede. Esta tecnologia possibilita a instalação de redes IP em locais de difícil acesso, onde antes a rede de distribuição e transmissão não chegava. Tem também outras vantagens como a autonomia, a facilidade de instalação, o baixo custo, uma vez que apenas necessitam de serem fixados ao solo e não precisarem de ligação à rede elétrica. Têm a desvantagem de não funcionarem em pleno perante a ausência de luz solar.

Neste seguimento, destaca-se também a integração do sistema de controlo e comunicação das novas redes de IP inteligentes nas infraestruturas existentes. A título de exemplo destaca-se o projeto piloto implementado em Chicago, desenvolvido pelo *Center for Smart Grid Applications Research and Technology (CSMART)* da *Illinois Instituto o Technology (IIT)*. O objetivo do projeto consiste em interligar as várias redes existentes, nomeadamente o sistema SCADA ao sistema de IP em parte de Chicago. Deste modo, ligaram-se os dispositivos inteligentes da rede, como IP inteligente, sensores, controladores de trânsito, entre outros. Sendo certo que a rede está interligada, em caso de avaria a central será avisada, permitindo uma manutenção mais eficaz e menos dispendiosa.

Caso este tipo de operação das redes seja integrado nas redes de IP, serão inúmeras as vantagens, como o controlo mais eficiente da rede IP, economia energética, níveis superiores de segurança e conforto, e ainda níveis de fiabilidade superiores comparativamente ao sistema convencional de IP [28].

4.5 - Conclusão

Pode afirmar-se que na atualidade existem várias opções para controlo e gestão da rede IP, de acordo com as necessidades e características do cliente, conseguindo-se uma boa eficiência energética e atingindo-se, consequentemente, níveis de poupança elevados.

Neste capítulo foram apresentadas algumas soluções ao nível de controlo e gestão, sendo referidas as medidas de eficiência mais comuns em Portugal. Sendo certo que desligar os equipamentos não será uma solução, dever-se-á procurar outro tipo de solução, que seja inteligente e global para as redes IP.

Os mais recentes progressos tecnológicos ao nível do sistema IP, oferecem a possibilidade de alcançar significativas poupanças estruturais neste setor.

As soluções atuais têm, ainda, em conta, uma série de parâmetros que não podem ser vistos de forma isolada, mas antes como uma solução global, que responda às necessidades das partes envolvidas, utilizando para isso a melhor estratégia de controlo e gestão para uma melhor eficiência.

Capítulo 5

Projeto de rede IP

5.1 - Introdução

Neste capítulo apresenta-se a realização do projeto luminotécnico de uma via rodoviária, recorrendo-se ao *software Ulysse* na versão 2.3, programa desenvolvido pela Schröder, para calcular os níveis de luminância e iluminância de redes IP.

O projeto, desenvolvido em várias fases, foi iniciado pela análise da planta da via pública. Durante esta fase, procedeu-se à divisão da via estudada em três zonas, rotunda, reta e cruzamento, atendendo às suas diferentes características rodoviárias. Numa fase posterior, foi realizada a classificação da via por forma a implementar o sistema de iluminação mais eficiente em cada uma das zonas.

Importa referir que, ao longo da execução do projeto, foram consideradas diferentes alternativas de iluminação, de forma a encontrar a mais adequada ao espaço, tendo em atenção a quantidade de luz necessária para uma iluminação eficiente para os utentes da via e recorrendo à menor potência possível, de modo a cumprir todas as normas vigentes e os limites técnicos.

Relativamente às normas utilizadas, refere-se que a EN 13201 introduziu as classes de iluminação de forma a facilitar e desenvolver os serviços de IP na União Europeia, levando a uma uniformização e harmonização dos requisitos [3].

A norma CIE 115-2010, introduziu uma série de recomendações relativamente a critérios de qualidade, classes de iluminação, requisitos para tráfego motorizado, regulação de fluxo, entre outros, para todas as categorias de estradas e zonas a iluminar [3].

5.2 - Descrição da Via

A via em estudo consiste numa estrada de alta ou média velocidade dentro de uma localidade. É constituída por duas vias divididas por um separador central. A via é composta por uma rotunda de 40 m de diâmetro, caracterizada por três saídas, por uma reta de 170 m e um pequeno cruzamento com largura de 14 m.

A rotunda e o cruzamento são designados como áreas de conflito e estão interligadas por uma estrada retilínea.

A planta da via estudada está representada na figura 5-1.

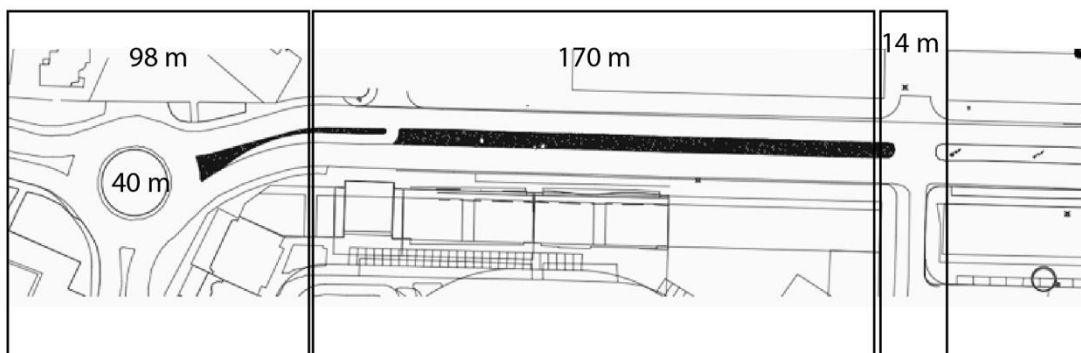


Figura 5-1- Planta da via pública em estudo.

5.3 - Classificação da via

Uma classe de iluminação define-se por um conjunto de requisitos fotométricos que apontam para as necessidades de visibilidade dos utilizadores dos vários tipos de ruas, estradas e áreas frequentadas.

A capacidade visual e as necessidades de iluminação diferem para os diferentes tipos de utilizadores, sendo exemplo deste facto a diferença entre as necessidades de iluminação entre condutores e peões, pelo que se torna necessária a utilização de diferentes

parâmetros, de luminância, de iluminância, de forma a garantir as condições mínimas de iluminação para a circulação em segurança.

Na elaboração deste estudo um dos requisitos iniciais foi a definição da classe da via a ser projetada. A classificação da via foi feita de acordo com a norma vigente:

- Classe M, para velocidade rápida ou moderada.
- Classe C, para áreas de conflito.
- Classe S, para espaços públicos pedonais.

A figura 5-2 resume as classes existentes e a sua aplicabilidade.

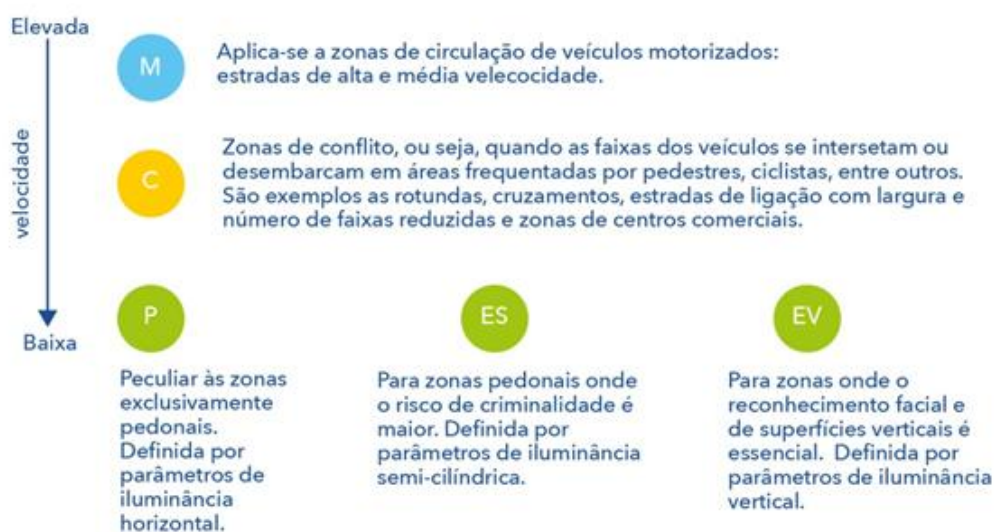


Figura 5-2- Classes de iluminação segundo a norma EN13201 [3].

Neste sentido, a área do projeto foi classificada como sendo da classe M, uma vez que a mesma apresenta níveis de tráfego com velocidades rápidas ou moderadas. De acordo com a norma EN13201-2:2003, esta classe possui apenas requisitos de luminância e está dividida em seis classes, de M1 a M6.

A tabela 5-1 mostra os requisitos fotométricos necessários para as várias classes.

Tabela 5-1- Requisitos fotométricos para as classes de alta e média velocidade [3].

Classe de iluminação	Superfície da estrada				TI(%)	SR
	Seca			Molhada		
	Lmédia(cd/m ²)	U _o	U _I	U _o		
M1	2	0,4	0,7	0,15	10	0,5
M2	1,5	0,4	0,7	0,15	10	0,5
M3	1	0,4	0,6	0,15	15	0,5
M4	0,75	0,4	0,6	0,15	15	0,5
M5	0,5	0,35	0,4	0,15	15	0,5
M6	0,3	0,35	0,4	0,15	20	0,5

De acordo com a CIE 115-2010, foi determinada qual a classe M a que a via em estudo pertence, cumprindo-se os procedimentos exigidos. Deste modo, foi atribuído um fator de peso adequado a cada parâmetro que permitisse a classificação da zona: velocidade, volume de tráfego, composição de trânsito, separação das faixas, densidade dos cruzamentos, existência ou não de veículos estacionados, luminância ambiente e ainda o controlo de trânsito.

Posteriormente, somaram-se todos os parâmetros selecionados, subtraindo-se de seguida ao número seis a soma de todos os parâmetros selecionados, sendo o resultado, o número da classe. De referir que, em caso de necessidade, é arredondado o valor final para o número inteiro mais baixo.

A tabela 5-2 mostra a seleção feita para a via urbana a estudar.

Tabela 5-2- Seleção de classes de iluminação - M.

Seleção de classes de iluminação - M			
Parâmetro	Opções	Fator de Peso	Seleção
Velocidade	Muito Alta	1	
	Alta	0,5	
	Moderada ou Reduzida	0	0
Volume de tráfego	Muito Elevado	1	
	Elevado	0,5	0,5
	Moderado	0	
	Baixa	-0,5	
	Muito Baixa	-1	
Composição do trânsito	Elevada percentagem de não motorizados	2	
	Misturado	1	1
	Apenas Motorizado	0	
Separação das faixas	Não	1	
	Sim	0	0
Densidade de cruzamentos	Alta	1	
	Moderada	0	0
Veículos estacionados	Presente	1	
	Não Presente	0	0
Luminância Ambiente	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baixa	-1	-1
Controlo de trânsito	Fraco	0,5	0,5
	Moderado ou Bom	0	
TOTAL			1
M			5

Aplicando-se o método exposto, classificou-se a zona designado por reta como M5, que deverá garantir os seguintes parâmetros luminotécnicos:

- Luminância média (Lm), $0,5 \text{ cd/m}^2$.
- Uniformidade global (Uo), 0,35.

As áreas de conflito foram classificadas também pelo critério de luminância, apesar de ser possível utilizar para estas áreas o critério de iluminância. As áreas da rotunda e cruzamento foram classificadas como M3, dois níveis abaixo da classificação dada à estrada considerada como principal, designada por reta. Importa referir que estas zonas têm que ter no mínimo um índice inferior à classificação da estrada principal, de acordo com o Manual de Iluminação Pública da EDP Distribuição [3].

As áreas de conflito do presente projeto deverão garantir os seguintes parâmetros luminotécnicos:

- Luminância média (Lm), 1 cd/m^2 .
- Uniformidade global (Uo), 0,40.

Sendo que a classificação M varia conforme a zona com a qual está relacionada, para que a análise luminotécnica seja mais precisa, é necessário dividir a planta em diferentes zonas, tratando-se ou não de uma área de conflito.

No programa *Ulysse* foram criadas 3 malhas distintas para cada uma das zonas em estudo, representadas na figura 5-3.

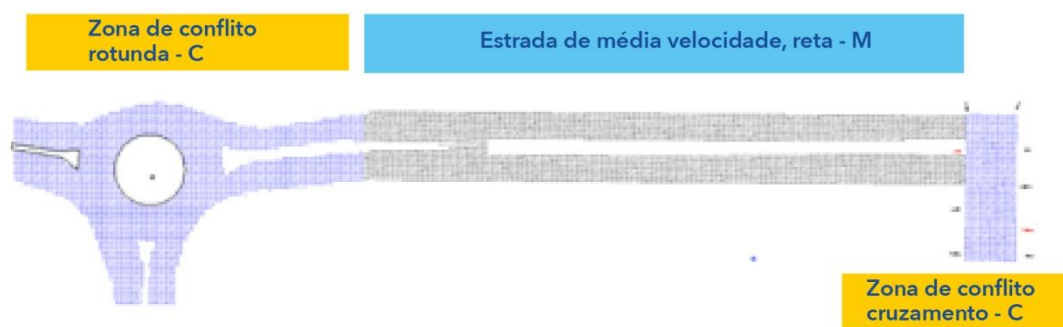


Figura 5-3- Divisão por áreas das diversas malhas a iluminar.

Na figura 5-3 é possível observar as três malhas, sendo duas delas áreas de conflito, a rotunda e o cruzamento, classificadas como M3. A malha sinalizada por reta classifica-se como M5 e representa uma estrada sem áreas de conflito.

5.4 - Estudo luminotécnico

Para a realização do estudo luminotécnico, foi utilizado o *software Ulysse v2.3*, recorrendo-se à funcionalidade de modo de procura de solução, *solution finder mode*. Foi utilizado inicialmente para a via, por forma a permitir uma escolha mais eficiente das luminárias a utilizar.

Neste estudo foram propostas duas soluções, sendo que a primeira solução apresentada foi a SENSO 2, uma luminária de tecnologia LED, e a segunda solução considerada foi uma luminária de lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, ONYX 2.

5.4.1 - Proposta SENS0 2

A escolha da luminária a utilizar baseou-se na oferta disponível no catálogo do Ulysse, bem como nas mais comumente utilizadas em projetos de iluminação pública pela Schröder. Deste modo, a luminária escolhida para a execução da primeira solução recaiu na SENS0 2, uma vez que apresenta bom desempenho em aplicações ao ar livre, iluminação rodoviária e urbana.

A gama SENS0 2 tem capacidade de alojar até 96 LEDs, caracterizando-se por bons desempenhos ao nível de fotometria e revelando grande flexibilidade.

Paralelamente, a escolha das luminárias recaiu também na SENS0 2 devido a [33]:

- Capacidade de racionalizar a energia, através de motores fotométricos muito eficazes.
- Capacidade de alcançar os níveis impostos pelas normas internacionais.
- Economia de energia e possibilidade de integração num sistema de gestão.
- Vida útil elevada e baixo custos de manutenção.
- Materiais robustos e recicláveis, exemplo disso serão o vidro e o alumínio.

A luminária SENS0 2 pode observar-se na figura 5-4 e as suas principais características podem ser consultadas na tabela 5-3.



Figura 5-4- Imagem da luminária SENS0 2 [33].

Tabela 5-3- Características da luminária SENSO 2 [34].

Caraterísticas - Luminária Senso 2	
Nível de estanqueidade do compartimento óptico	IP 66 LEDSafe (*)
Nível de estanqueidade do compartimento eletrônico	IP 66 LEDSafe (*)
Resistência ao impacto (vidro)	IK 08 (**)
Tensão nominal	230 V-50Hz
Classe elétrica	I OU II (*)
Peso	14 kg
Altura de instalação	8-10 m
(*) - de acordo com a norma IEC-EN 60598	
(**) - de acordo com a norma IEC-EN 62262	

Para a realização desta proposta do estudo luminotécnico foi utilizada a luminária SENSO 2, com uma potência de 82 W, equipada com a lâmpada 68 XP-E WHT 3500 °K [87], com um fluxo de 5,943 klm, um protetor *Glass Standard Flat* e refletor 6103. Esta luminária apresenta como principais caraterísticas, um peso de 14kg, índices de proteção IK08 e IP66, e classe de isolamento do tipo II.

Nas figuras 5-5 e 5-6 são apresentados o diagrama polar e a curva de utilização desta luminária.

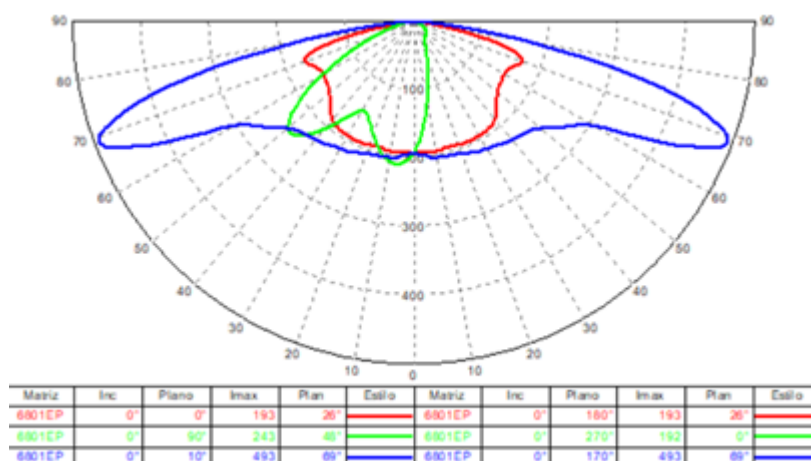


Figura 5-5- Diagrama polar da luminária SENSO 2 [34].

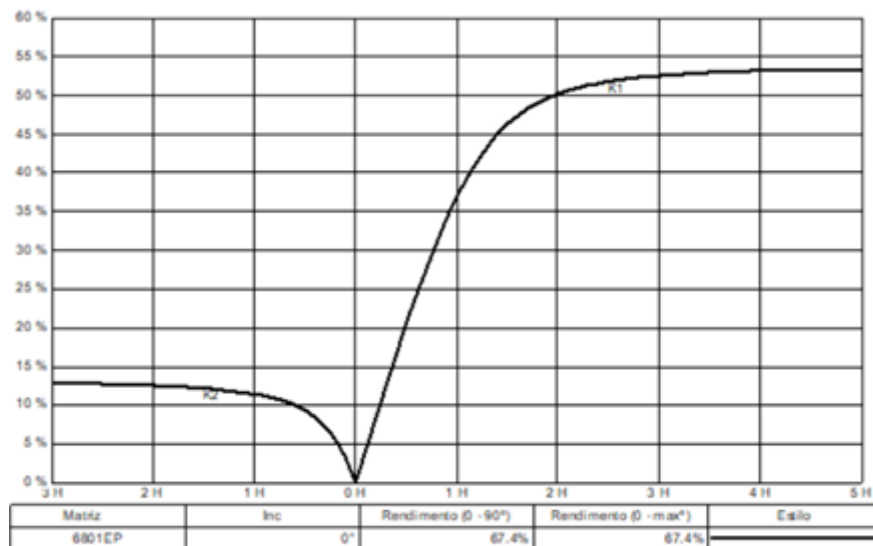


Figura 5-6- Curva de utilização da luminária SENSO 2 [34].

Após a escolha da luminária, procedeu-se à realização de diversas simulações da iluminação pública para os locais em estudo.

Foi tido em atenção que as soluções encontradas respeitassem as limitações técnicas da luminária bem como os valores de referência para as áreas da via a iluminar.

Nas figuras 5-7, 5-8 e 5-9 apresentam-se as plantas dos diferentes locais em estudo com a disposição das luminárias.

5.4.1.1 - Rotunda

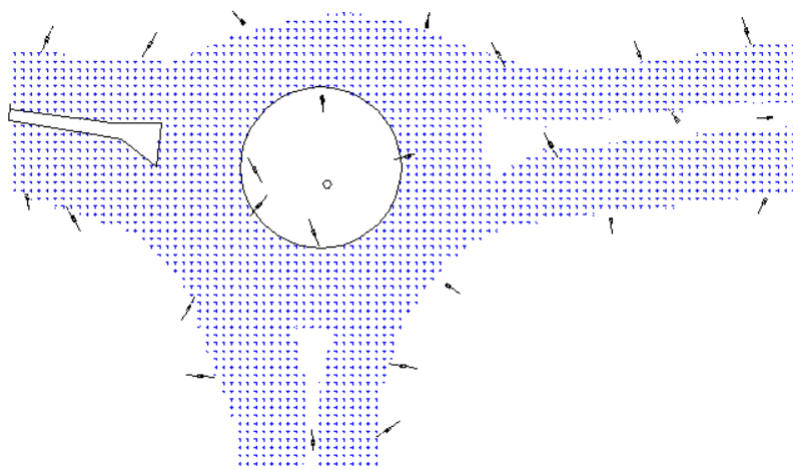


Figura 5-7- Planta da rotunda com a disposição das luminárias.

No presente estudo, optou-se para a altura dos postes de iluminação 10 m, com um recuo de 1.780 m, como se pode observar pelo pequeno traço atrás da luminária. De referir que as luminárias presentes na planta não se encontram na escala correta.

Na figura 5-7 é possível, ainda, observar o valor da inclinação das luminárias, que nesta solução técnica só pode variar num intervalo de mais ou menos 10°. A inclinação da luminária permite perceber onde está localizado o foco. Esta inclinação foi otimizada individualmente de modo a atingir os requisitos técnicos.

Pode também observar-se que, em algumas zonas, as luminárias se encontram muito próximas, não se verificando uma disposição homogênea, em virtude das diferentes necessidades em termos dos parâmetros de iluminação das mesmas. Deste modo, a via apresenta, por vezes, locais da faixa mais largos que obriga a uma maior incidência da luz, enquanto as zonas de conflito têm sempre maiores necessidades em termos de luminância e iluminância, para cumprirem as normas vigentes.

5.4.1.2 - Reta

Para a parte da via caracterizada por reta utilizou-se uma disposição bilateral das luminárias, uma configuração aconselhada pelo Manual de Iluminação Pública da EDP Distribuição para este tipo de área. Justifica-se a escolha por a largura da via ser superior a 1,5 vezes a altura aplicada no poste.

Foram colocados seis postes de cada lado da via, espaçados entre si 30 m, realçando-se que nas extremidades foram colocadas quatro luminárias no separador central, com o objetivo de cumprir os requisitos luminotécnicos exigidos para este tipo de implementação.

Na figura 5-8 pode observar-se a malha que se designou por reta, sendo que se instalaram 16 luminárias para garantir os valores exigidos nas normas.

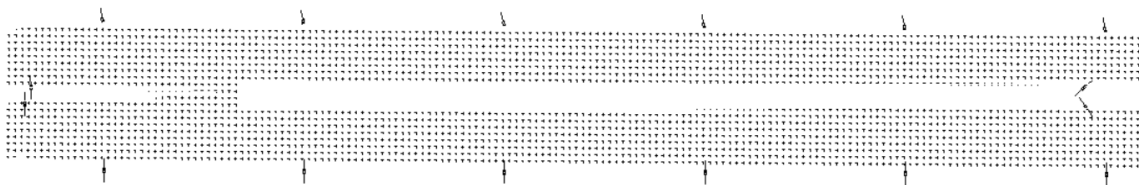


Figura 5-8- Planta da reta rodoviária com a disposição das luminárias.

5.4.1.3 - Cruzamento

Na figura 5-9 mostra-se a malha do cruzamento, na qual se utilizaram 9 luminárias por forma a cumprir os valores estipulados de iluminação para a zona.

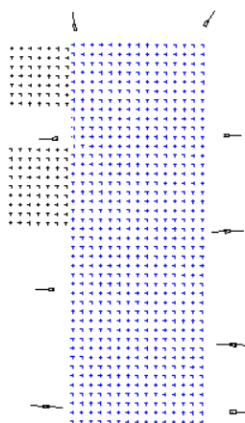


Figura 5-9- Planta do cruzamento rodoviário com a disposição das luminárias.

Na tabela 5-4, pode observar-se o mapa da quantidade de luminárias utilizadas na proposta de solução SENSO 2. Utilizaram-se um total de 50 luminárias SENSO 2, sendo 25 usadas na rotunda, 16 na reta e 9 no cruzamento.

As luminárias foram distribuídas de acordo com as necessidades de cada malha de iluminação, de modo a obter os valores luminotécnicos necessários para cada uma das zonas, classificando-se a reta como classe M5 e as zonas de conflito como classe M3.

A altura dos postes de iluminação utilizada foi de dez metros, com espaçamentos diferentes, conforme a malha de iluminação estudada e com inclinação da luminária variável de mais ou menos 10 ° individualmente.

A tabela 5-4 indica o mapa de quantidades de luminárias utilizadas para o projeto.

Tabela 5-4- Mapa de quantidades da solução Senso 2.

Mapa de quantidades		
Zona	Tipo	Qualidade
Reta	Senso 2/ Glass Standard Flat/6103/78 XP-E WHT 3500 °K [87]	16
Cruzamento	Senso 2/ Glass Standard Flat/6103/78 XP-E WHT 3500 °K [87]	9
Rotunda	Senso 2/ Glass Standard Flat/6103/78 XP-E WHT 3500 °K [87]	25
TOTAL		50

5.4.1.4 - Resultados

Neste ponto apresentam-se os resultados obtidos pelo estudo luminotécnico feito por simulação computacional, utilizando o *software Ulysse*, para cada uma das zonas em estudo, recorrendo-se a luminárias do tipo SENSO 2.

São apresentados os valores das grandezas de referência bem como os gráficos de luminância para as três zonas em estudo. Importa referir que, relativamente à uniformidade global e longitudinal e luminância, os valores obtidos devem ser superiores aos de referência, enquanto relativamente ao aumento limiar (TI), os valores obtidos devem ser inferiores ao de referência.

5.4.1.4.1 - Rotunda

Caraterizando-se a rotunda como uma zona de conflito, a mesma foi classificada em M3, cuja luminância média mínima exigida é de $1,00 \text{ cd/m}^2$. Desta forma, esta zona respeita o requisito de luminância média, tornando-se assim numa solução aplicável para este projeto.

Através da análise da figura 5-10, é possível verificar que a uniformidade global é alta, uma vez que as manchas coloridas evidenciam uma elevada uniformidade geral. Pode-se também observar uma pequena diferença entre a luminância mínima e a luminância máxima, correspondendo à uniformidade longitudinal.

Os valores do estudo luminotécnico para a rotunda, podem ser consultados na tabela 5-5.

Tabela 5-5- Resultados do estudo para a rotunda.

Rotunda			
Iluminância média (lux)	Luminância média (cd/m^2)	Uniformidade Geral (%)	Uniformidade longitudinal (%)
19,4	1,02	66,6	53,4

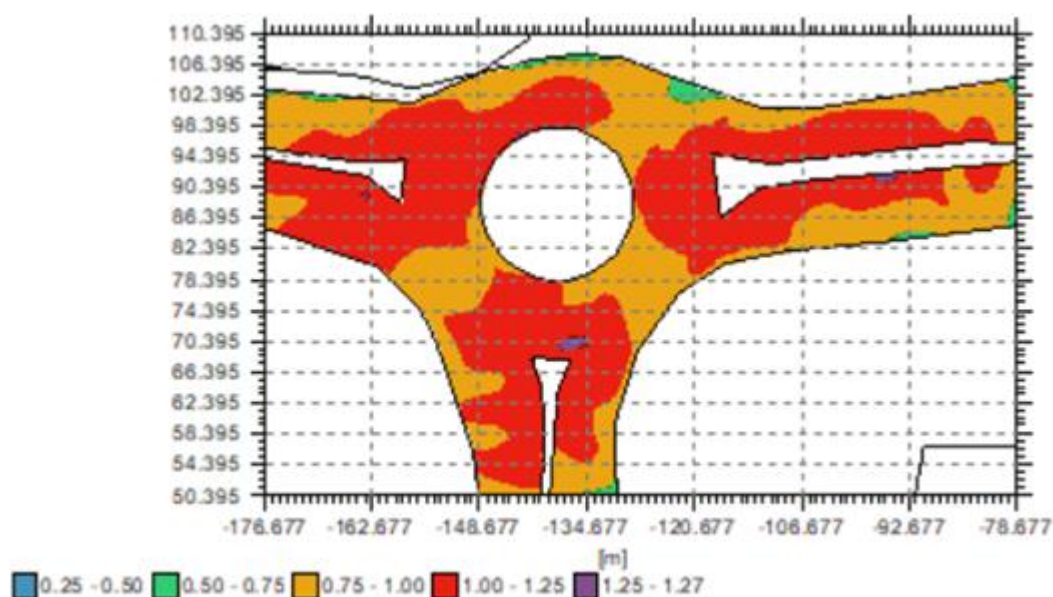


Figura 5-10- Distribuição da luminância na malha da rotunda.

5.4.1.4.2 - Reta

No que concerne à reta em estudo, a zona foi classificada como classe M3. De forma a alcançar os valores ideais estipuladas para este tipo de classe, $0,5 \text{ cd/m}^2$ de luminância média, foi necessária a instalação de 16 luminárias.

Pela análise da figura 5-11, é possível verificar que a uniformidade global é alta, uma vez que as manchas coloridas evidenciam uma elevada uniformidade geral, sendo grande parte da reta preenchida com a mesma cor.

Os valores do estudo luminotécnico para a reta podem ser consultados na tabela 5-6.

Tabela 5-6- Resultados do estudo para reta.

Reta			
Iluminância média (lux)	Luminância média (cd/m^2)	Uniformidade Geral (%)	Uniformidade longitudinal (%)
10,5	0,62	68,5	42,3

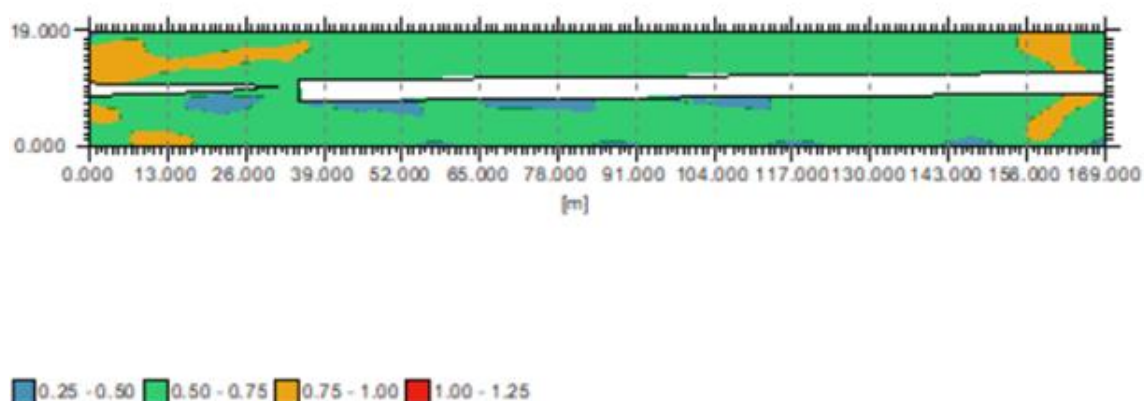


Figura 5-11- Distribuição da luminância na malha da reta.

5.4.1.4.3 - Cruzamento

Caraterizando-se o cruzamento como uma zona de conflito, o mesmo foi classificado em M3, cuja luminância média mínima exigida é de $1,00 \text{ cd/m}^2$. Desta forma, esta zona respeita o requisito de luminância média, tornando-se assim numa solução aplicável para este projeto.

Pela análise da figura 5-12, é possível verificar que a uniformidade global é alta, uma vez que as manchas coloridas evidenciam uma elevada uniformidade geral, por se verificar em grande parte da planta a mesma cor.

Os valores do estudo luminotécnico para o cruzamento, podem ser consultados na tabela 5-7.

Tabela 5-7- Resultados do estudo para o cruzamento.

Cruzamento			
Iluminância média (lux)	Luminância média (cd/m^2)	Uniformidade Geral (%)	Uniformidade longitudinal (%)
21,5	1,09	77,3	65,3

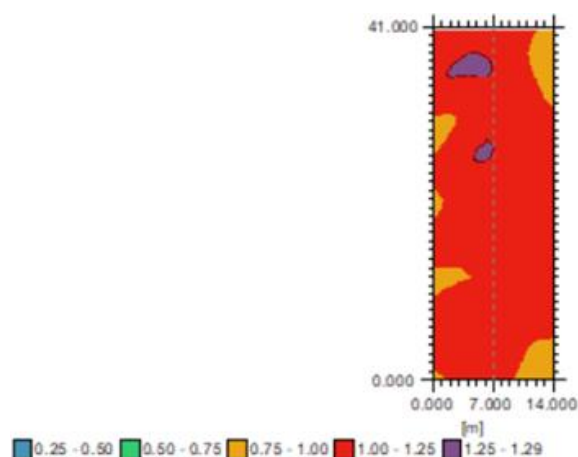


Figura 5-12- Distribuição da luminância na malha do cruzamento.

Para os valores determinados, e de acordo com o documento de referência do MEID, os níveis médios calculados não deverão ultrapassar 120%, nem serem inferiores a 95% [3]. Neste projeto esta indicação foi cumprida, apresentando-se os valores dentro do intervalo esperado.

5.4.2 - Proposta ONYX 2

No que respeita à segunda proposta, a luminária escolhida para a execução do projeto recaiu na ONYX 2, uma vez que esta apresenta também bom desempenho em aplicações ao ar livre, iluminação rodoviária e urbana.

A gama ONYX 2 caracteriza-se por bons desempenhos ao nível de controlo de fluxo e de redução do nível de poluição, devido a esta tecnologia usar um protetor curvo na luminária, resultando por conseguinte, uma melhor distribuição de luz, o que possibilita um maior espaçamento entre as colunas de iluminação [36].



Figura 5-13- Imagem da luminária ONYX 2 [36].

Tabela 5-8- Algumas características da luminária ONYX [36]:

Caraterísticas - Luminária ONYX 2	
Nível de estanqueidade do compartimento óptico	IP 66 Sealsafe (*)
Nível de estanqueidade do compartimento eletrônico	IP 44 (*)
Resistência ao impacto (vidro)	IK 08 (**)
Tensão nominal	230 V-50Hz
Classe elétrica	I ou II (*)
Peso	7,8 kg
(*) - de acordo com a norma IEC-EN 60598	
(**) - de acordo com a norma IEC-EN 62262	

Para a realização desta solução, foi utilizado no estudo a luminária ONYX 2, com uma potência de 70 W, equipada com a lâmpada SON-T com um fluxo de 6 klm, um protetor *Glass Standard Bended* e um refletor 1419.

Esta tecnologia apresenta como principais características, um peso de 7,8 kg, índices de proteção IK08 e IP44, e classe de isolamento do tipo I ou II.

Nas figuras 5-14 e 5-15 são apresentados, respectivamente, o diagrama polar e a curva de utilização.

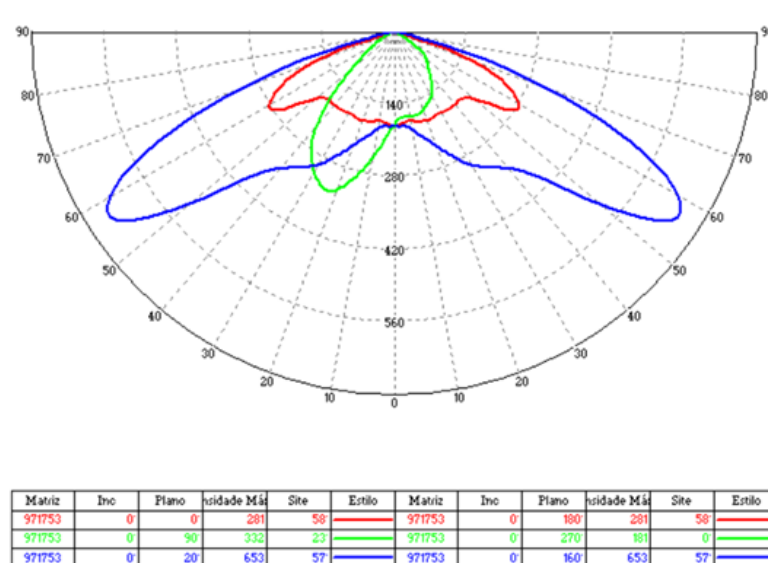


Figura 5-14- Diagrama polar da luminária ONYX 2 [35],

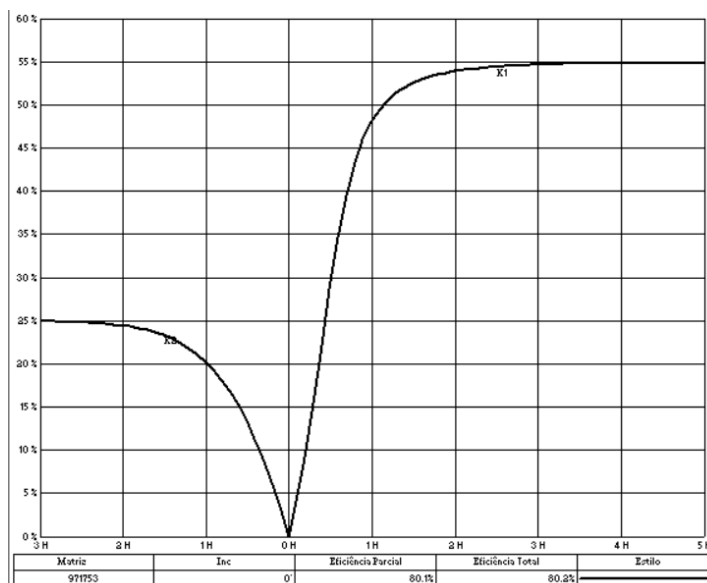


Figura 5-15- Curva de utilização da luminária ONYX 2 [35].

Após a escolha da luminária, tal como na solução anteriormente apresentada, procedeu-se à realização de diversas simulações de iluminação pública para os locais em estudo.

Foi tido em atenção que as soluções encontradas respeitassem as limitações técnicas da luminária, bem como os valores de referência para as áreas da via a iluminar.

Nas figuras 5-16, 5-17 e 5-18 apresentam-se as plantas dos diferentes locais em estudo com a disposição das luminárias.

5.4.2.1 - Rotunda

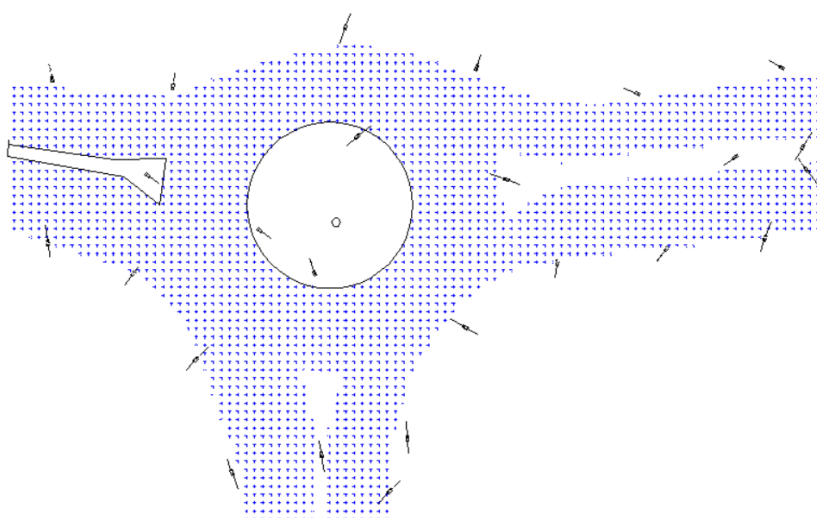


Figura 5-16- Planta da rotunda com a disposição das luminárias.

Neste estudo, a altura dos postes de iluminação utilizados é de 12 m com um recuo de 1.780 m, situação que se pode observar pelo pequeno traço atrás da luminária, na figura 5-16. De referir que as luminárias presentes na planta não se encontram na escala correta.

Na figura 5-16, é possível ainda observar o valor da inclinação das luminárias. Embora este tipo de tecnologia permita uma variação da inclinação superior a 10°, tal não foi considerado na presente solução. A inclinação da luminária permite perceber onde está localizado o foco, sendo que essa inclinação foi otimizada individualmente de modo a atingir os requisitos técnicos.

Poder-se-á também observar que, em algumas zonas, as luminárias se encontram muito próximas, não se verificando uma disposição homogênea, em virtude das diferentes necessidades em termos dos parâmetros de iluminação das mesmas. Deste modo, a via apresenta, por vezes, locais da faixa mais largos que obriga a uma maior incidência da luz, enquanto as zonas de conflito têm sempre maiores necessidades em termos de luminância e iluminância, de forma a cumprirem as normas vigentes.

5.4.2.2 - Reta

Para a reta, utilizou-se uma disposição bilateral das luminárias, uma configuração aconselhada pelo Manual de Iluminação Pública da EDP Distribuição para este tipo de via. Deste modo, justifica-se a escolha por a largura da via não ser superior a 1,5 vezes a altura aplicada no poste.

Foram colocados seis postes de cada lado da via, espaçados entre si 30 m, realçando-se que nas extremidades foram colocadas duas luminárias no separador central, com o objetivo de cumprir os requisitos luminotécnicos exigidos para este tipo de implementação.

Na figura 5-17 pode observar-se a malha que se designou por reta, sendo que se instalaram 14 luminárias para garantir os valores exigidos nas normas.

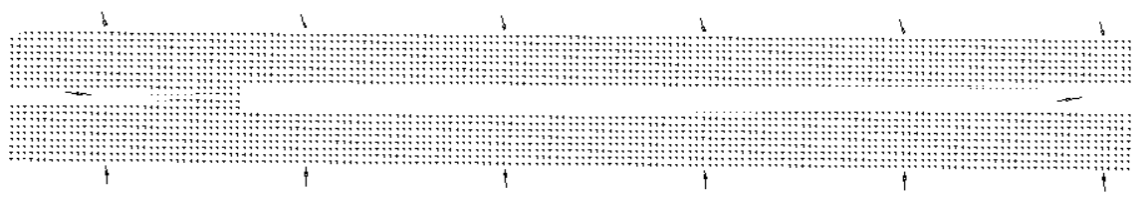


Figura 5-17- Planta da reta rodoviária com a disposição das luminárias.

5.4.2.3 - Cruzamento

Na figura 5-18 mostra-se a malha do cruzamento, na qual se utilizaram 9 luminárias por forma a cumprir os valores estipulados de iluminação para a zona.

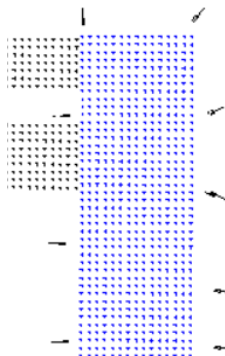


Figura 5-18- Planta do cruzamento rodoviário com a disposição das luminárias.

Na tabela 5-9 pode observar-se o mapa da quantidade de luminárias utilizadas nesta proposta de solução técnica.

Utilizaram-se 48 luminárias ONYX 2, sendo 25 usadas na rotunda, 14 na reta e 9 no cruzamento.

Tal como na solução anterior, as luminárias foram distribuídas de acordo com as necessidades de cada malha de iluminação, de modo a obter os valores luminotécnicos necessários para cada uma das zonas, classificando-se a reta como classe M5 e as zonas de conflito como classe M3.

A altura dos postes de iluminação utilizada foi de 12 metros, com espaçamentos diferentes, conforme a malha de iluminação estudada.

A tabela 5-9 mostra o mapa de quantidades de luminárias utilizadas para a proposta ONYX 2.

Tabela 5-9- Mapa de quantidades da proposta ONYX 2.

Mapa de quantidades		
Zona	Tipo	Qualidade
Reta	ONYX 2/ Glass Standard Bended/1419/SON-T 70W	14
Cruzamento	ONYX 2/ Glass Standard Bended/1419/SON-T 70W	9
Rotunda	ONYX 2/ Glass Standard Bended/1419/SON-T 70W	25
TOTAL		48

5.4.2.4 - Resultados

De seguida, apresentam-se os resultados obtidos pelo estudo luminotécnico feito por simulação computacional, utilizando o *software* Ulysse, para cada uma das zonas em estudo, recorrendo-se a luminárias do tipo ONYX 2.

5.4.2.4.1 - Rotunda

Como anteriormente mencionado, a rotunda caracteriza-se como uma zona de conflito, pelo que foi classificada em M3, cuja luminância média mínima exigida é de 1,00 cd/m^2 . Desta forma, esta zona respeita o requisito de luminância média, tornando-se assim numa solução aplicável para esta zona.

Pela análise da figura 5-19, é possível verificar que a uniformidade global é alta, uma vez que as manchas coloridas evidenciam uma elevada uniformidade geral. Pode-se também observar uma pequena diferença entre a luminância mínima e a luminância máxima, correspondendo à uniformidade longitudinal.

Os valores do estudo luminotécnico para a rotunda, podem ser consultados na tabela 5-10.

Tabela 5-10- Resultados do estudo para a rotunda.

Rotunda			
Iluminância média (lux)	Luminância média (cd/m^2)	Uniformidade Geral (%)	Uniformidade longitudinal (%)
20,3	0,98	64,9	48,5

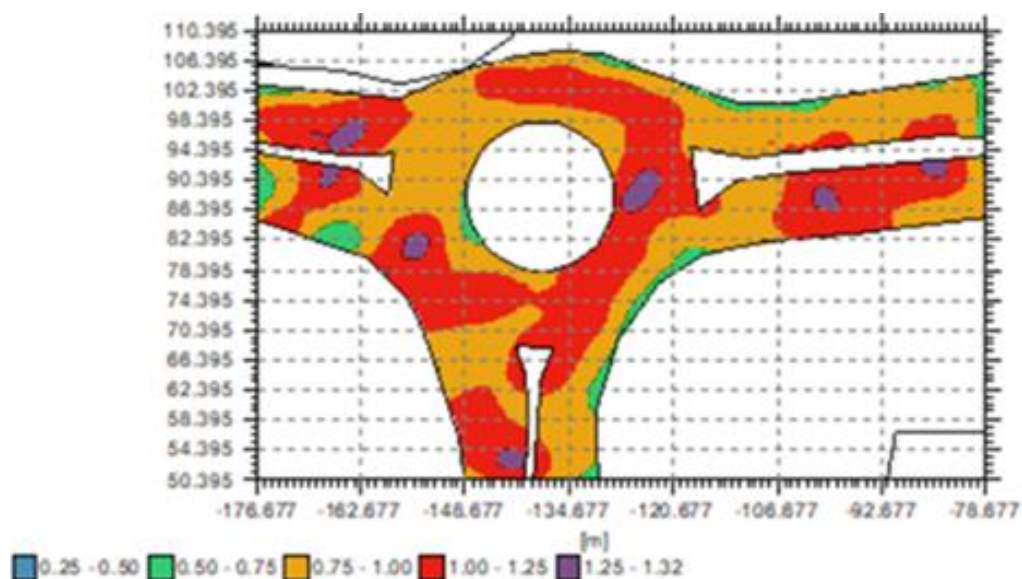


Figura 5-19- Distribuição da iluminância na malha da rotunda.

5.4.2.4.2 - Reta

No que concerne à reta em estudo, a zona foi classificada como classe M5. De forma a alcançar os valores ideais estipuladas para este tipo de classe, $0,5 \text{ cd/m}^2$ de luminância média, foi necessário a instalação de 14 luminárias.

Através da análise da figura 5-20, é possível verificar que a uniformidade global é alta, uma vez que as manchas coloridas evidenciam uma elevada uniformidade geral, sendo grande parte da reta preenchida com a mesma cor.

Os valores do estudo luminotécnico para a reta podem ser consultados na tabela 5-11.

Tabela 5-11- Resultados do estudo para reta.

Reta			
Iluminância média (lux)	Luminância média (cd/m^2)	Uniformidade Geral (%)	Uniformidade longitudinal (%)
10,1	0,55	65,5	40,4

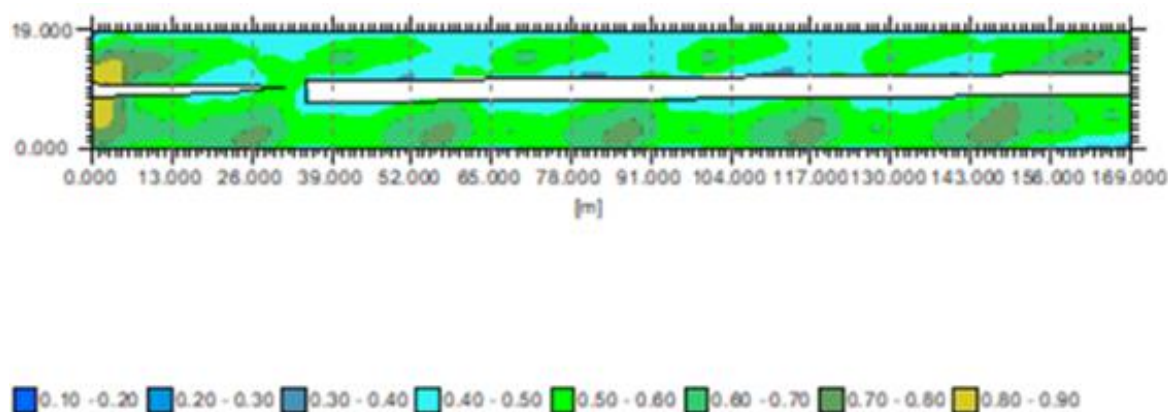


Figura 5-20- Distribuição da luminância na malha da reta.

5.4.2.4.3 - Cruzamento

Caraterizando-se o cruzamento como uma zona de conflito, o mesmo foi classificado em M3, cuja luminância média mínima exigida é de $1,00 \text{ cd/m}^2$. Desta forma, esta zona respeita o requisito de luminância média, tornando-se assim numa solução aplicável para esta zona.

Pela análise da figura 5-21, é possível verificar que a uniformidade global é alta, uma vez que as manchas coloridas evidenciam uma elevada uniformidade geral, por se verificar em grande parte da planta a mesma cor.

Os valores do estudo luminotécnico para o cruzamento, podem ser consultados na tabela 5-12.

Tabela 5-12- Resultados do estudo para o cruzamento.

Cruzamento			
Iluminância média (lux)	Luminância média (cd/m^2)	Uniformidade Geral (%)	Uniformidade longitudinal (%)
21,1	0,95	73,8	61,6

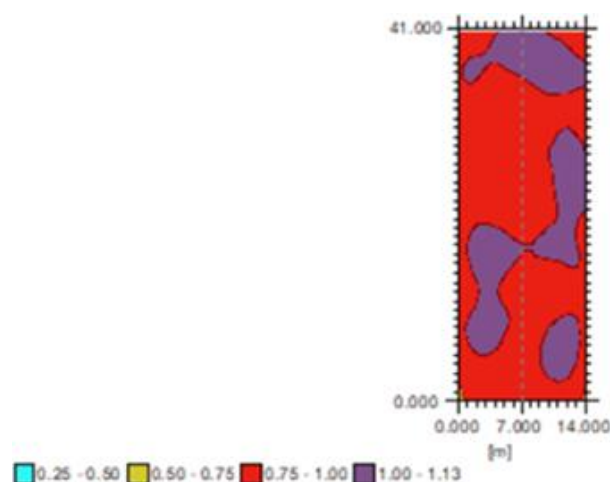


Figura 5-21- Distribuição da luminância na malha do cruzamento.

Tal como já referido, para os valores determinados e de acordo com o documento de referência do MEID, os níveis médios calculados não deverão ultrapassar 120%, nem serem inferiores a 95% [3]. Nesta solução, esta indicação foi cumprida apresentando-se os valores dentro do intervalo esperado.

5.5 - Comparação das duas soluções

Procede-se agora à comparação das duas soluções estudadas, comparando o desempenho energético, assim como os custos energéticos anuais de ambas.

Nesta análise, considerou-se um preço de energia de acordo com o tarifário vigente em 2017, da EDP Comercial BTN, para a tarifa simples com uma potência contratada entre os 2,3 kVA e os 20,7 kVA, sendo que o valor a pagar seria de 0,1646 €/KWh.

Não foram considerados os custos relativos à potência contratada, os custos de implementação e os custos de manutenção.

Foi ainda considerado um horário de funcionamento de 10 horas diárias pelo período de um ano.

O cálculo da energia consumida por ano é realizado pela equação dada em 5.1.

$$E_{consumida} = P_{luminaria} \times t_{funcionamento} \times n \quad (5.1)$$

Onde:

- $E_{consumida}$ é a energia consumida por ano em kWh.
- $P_{luminaria}$ é potência total da luminária dada em W.
- $t_{funcionamento}$ é o tempo de funcionamento dado em horas.

- n é o número de luminárias aplicadas no projeto.

Na tabela 5-13 são apresentados os dados relativos a ambas soluções, onde se apresentam os valores de potência, o consumo energético anual total e o custo anual, de cada uma das soluções.

Tabela 5-13 - Valores comparativos das duas propostas.

	SENSO 2	ONYX 2
Nº de luminárias	50	48
Potência (W)	82	70
Tarifa (€/kWh)	0,1646 €	
Nº de dias	365	
Horas de funcionamento (h)	10	
Energia diária total (kWh)	41	36,6
Custo diário total	6,75 €	5,54 €
Energia total anual (kWh)	14965	12264
Custo anual	2 463,24 €	2 018,65 €

Admitindo que na solução SENSO 2 foram utilizadas as 50 luminárias de potência 82 W, ligadas 10 horas por dia durante um ano, conclui-se que esta solução consumiria cerca de 15000 kWh, traduzindo-se num custo de aproximadamente de 2500 euros.

Relativamente à solução ONYX 2, onde se utilizaram 48 luminárias de potência 70 W, ligadas 10 horas por dia durante um ano, conclui-se que esta solução consumiria cerca de 12300 kWh, traduzindo-se num custo de aproximadamente de 2000 euros.

Neste seguimento, e comparando as duas soluções apresentadas, importa referir que ambas têm características diferentes, tornando difícil a sua comparação. Contudo, observa-se que a proposta SENSO 2, solução LED, é melhor tecnicamente, o que se justifica pela comparação dos vários parâmetros luminotécnicos representados nas tabelas 5-5 a 5-7 e 5-10 a 5-12, apresentando melhores índices médios de luminância, bem como melhor distribuição de luz nas três áreas estudadas.

Apesar da solução ONYX 2, solução de lâmpada de vapor de sódio de alta pressão, ser mais vantajosa ao nível de consumo energético, bem como no que concerne à potência

instalada, relativamente à solução SENSO 2, a ONYX 2 exige potências mais baixas para atingir os valores de referência para as áreas em questão (lâmpadas de 70 W contra 82 W das LEDs). Como consequência, utilizaram-se menos luminárias na solução ONYX2, o que se traduz numa menor potência instalada, permitindo uma poupança energética anual de 2700 kWh, e uma redução na fatura energética de cerca de 500 euros anuais, quando comparada com a solução SENSO 2.

A solução ONYX 2 apresenta desvantagens ao nível da altura dos postes, sendo que se aplicou uma altura de 12 m contra os 10 m da solução de SENSO 2, tornando mais caro este tipo de solução. Paralelamente, apresenta-se como uma solução ligeiramente pior ao nível dos requisitos luminotécnicos, com piores rácios de distribuição de luz, assim como piores valores médios de luminância. A solução ONYX apresenta também um índice de restituição de cor (IRC), bastante inferior à solução SENSO 2.

A tecnologia ONYX 2 utilizou lâmpadas de 70 W contra os 82 W das SENSO 2, apresentando contudo piores índices luminotécnicos. No entanto, tendo em conta o catálogo do Ulysse, utilizado neste estudo, o aumento de potência só poderia ser feito para lâmpadas de 100 W, o que tornaria os valores médios muito superiores aos apontados no manual de referência de IP, recomendados para a área em estudo tornando-se numa má solução, tanto a nível luminotécnico como energético.

A solução LED é a melhor solução por apresentar melhores características luminotécnicas para implementar na via, apesar de utilizar mais luminárias e com potência superior. O tempo de vida útil da lâmpada LED é de cerca de 100.000 horas enquanto nas lâmpadas de vapor de sódio é, em média, cerca de 30.000 horas, o que obriga à sua substituição mais cedo. A tecnologia LED apresenta também custos de manutenção mais baixos, sendo outra vantagem para a sua escolha.

5.6 - Conclusão

No presente capítulo, apresentou-se o estudo luminotécnico de Iluminação Pública realizado para uma via rodoviária urbana, que se classificou em M5, enquanto as zonas de conflito adjacentes se classificaram em M3.

O objetivo primordial deste estudo foi o projeto de uma solução viável de Iluminação Pública, comparando dois tipos diferentes de tecnologia, LED e Vapor de Sódio de alta pressão.

Para a realização do estudo, foram delineadas diferentes etapas, seguindo-se o manual de iluminação pública da EDP Distribuição, nomeadamente o estudo da planta, a

classificação das zonas a iluminar e o estudo de diversas soluções por forma a encontrar a melhor e mais eficiente tecnologia a implementar na zona em estudo.

Após a concretização do projeto e a comparação das diferentes soluções propostas, poder-se-á referir que ambas soluções são viáveis, contudo a proposta SENSO 2 apresenta melhores parâmetros luminotécnicos para a via em estudo, apesar dos resultados em termos de eficiência energética se revelarem inferiores em relação à solução proposta na ONYX 2. Sendo assim, a escolha recai sobre a proposta LED, SENSO 2.

Capítulo 6

Conclusões e Perspetivas de trabalho Futuro

As primeiras experiências em Portugal de IP surgiram no ano de 1780 em Lisboa e utilizavam o azeite como fonte de energia. Posteriormente, o gás foi a energia utilizada até ao aparecimento da eletricidade, sendo que esta se desenvolveu bastante a partir da década de trinta do século XX até aos dias de hoje.

Neste contexto, foram utilizadas um leque variado de tecnologias que acompanharam a natural evolução dos sistemas de IP, tornando-se mais eficientes e económicas ao longo do tempo.

Como anteriormente já referido, estima-se que em Portugal a IP seja responsável por cerca de 3% da energia total consumida, no entanto mais de 50% desta não se traduz em energia útil. Neste sentido, torna-se essencial a constante procura por tecnologias mais eficientes e sustentáveis, com a finalidade de um melhor aproveitamento dos recursos energéticos.

Na atualidade, as tecnologias da IP, dividem-se em dois grupos, a tecnologia de descarga de alta intensidade (HID), que predomina na rede nacional, e a tecnologia LED, considerada pelos peritos como o futuro dos sistemas de IP.

Embora a tecnologia LED ainda se encontre em fase de maturação, apresenta já níveis de eficiência luminosa superiores às tecnologias de descarga (HID). Para além disso, o tempo médio de vida útil das LED revela-se bastante superior às convencionais, exigindo menor tempo de manutenção, e apresenta melhor qualidade de luz.

Neste contexto, pode-se aferir que o uso da tecnologia LED é mais vantajosa relativamente às demais, uma vez que apresenta melhores resultados ao nível dos índices luminotécnicos, e apresenta vantagens ao nível do controlo da rede de IP, permitindo melhores consumos energéticos.

O estudo realizado para a presente dissertação teve como objetivo a implementação de uma rede de IP numa zona de alta e moderada velocidade, utilizando duas tecnologias diferentes, LED e Vapor de Sódio de Alta Pressão.

Após a concretização do projeto e a comparação das diferentes soluções propostas, concluiu-se que ambas as soluções eram viáveis. A proposta SENSO 2 apresentou melhores parâmetros luminotécnicos para a via em estudo, pese embora os resultados em termos de eficiência energética se terem revelado inferiores em relação à solução proposta na ONYX 2, pelo que a escolha recaiu na tecnologia LED, SENSO 2.

Este projeto permitiu também concluir que se dever efetuar uma análise cuidada, cumprindo-se as normas vigentes, no que respeita aos níveis de qualidade de iluminação e eficiência energética.

No que respeita a futuros trabalhos, poder-se-ão realizar investigações no âmbito de temáticas que incidam sobre sistemas de controlo e gestão de redes IP, uma vez que os mesmos não foram considerados no presente estudo, de modo a aferir o comportamento de eficiência da rede IP perante diferentes sistemas de gestão e controlo.

Poder-se-ão ainda realizar estudos que procedam à comparação de soluções projetadas do tipo LED, SENSO 2, com e sem controlo, por forma a encontrar a melhor eficiência energética.

Uma outra possibilidade, será a análise da vertente económica do presente estudo.

Finalmente, sugere-se que os projetos futuros, permitam alcançar melhores metas energéticas e consciencializar as entidades responsáveis e os cidadãos para o uso racional e sustentável de energia.

Referências

- [1] "Iluminação Pública" disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Iluminação_pública, acesso em Maio 2018.
- [2] L. C. T. Vaz, "Supervisão e controlo remoto da iluminação na via pública", Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2010.
- [3] EDP Distribuição, "Manual de iluminação pública, revisão - conceitos básicos de luminotecnia," tech. rep., 2016 disponível em <https://www.edpdistribuicao.pt/pt/profissionais/EDP%20Documents/Manual%20Iluminação%20Pública.pdf>.
- [4] D. A. M. Saraiva, "Medidas de Eficiência Energética em Redes de IP", Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, 2014.
- [5] <http://www.revistadavila.com.br/2016/06/luzion-historia-da-iluminacao/>, acesso em Fevereiro de 2018.
- [6] "Timeline das tecnologias de iluminação" https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_lighting_technology, acesso em Fevereiro 2018.
- [7] "Monumentos Desaparecidos" disponível em <http://monumentosdesaparecidos.blogspot.pt/2016/04/iluminacao-publica-gas-lisboa.html>, acesso em Fevereiro 2018.
- [8] "website de voltimum, problema energético mundial", disponível em <https://www.voltimum.pt/artigos/problema-energetico-mundial-estudo-de>, acesso em Fevereiro 2018.
- [9] "Estatísticas Internacionais de Energia - Consumo total de eletricidade", disponível em <https://www.eia.gov>, acesso em Fevereiro 2018.
- [10] R. F. M. Brandão, "Eficiência energética na iluminação pública", Artigo Técnico, ISEP, *Neutro à Terra*, no. 12, pp. 55-60, 2013,.
- [11] "Observatório espacial da NASA" disponível em <https://www.nasa.gov/content/iberian-peninsula-at-night>, acesso em Fevereiro 2018.
- [12] "PORDATA - Consumo de energia elétrica: total e por tipo de consumo", disponível em <http://www.pordata.pt/Subtema/Portugal/Energia-90>. Acesso em Fevereiro 2018.
- [13] Maciel Barbosa, Fernando, "Aulas de LIND", FEUP, slides, 2018.
- [14] "Tarifário em IP", disponível em <http://www.edpsu.pt/pt/tarifasehorarios/btn/pages/tarifadeip.aspx>, acesso em Fevereiro 2018.

- [15] M. F. d. A. Lindinho, "Sistemas de iluminação pública inteligentes e de alta eficiência", Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Viseu, 2015.
- [16] "Website da exporlux, projetos de eficiência energética em IP", disponível em http://www.exporlux.pt/pt/projectos.8/a29_no_de_angeja.a76.html. Acesso em Fevereiro 2018.
- [17] "Portal de notícias do Porto", disponível em <http://www.porto.pt/noticias/camara-poupou-energia-e-reduziu-emissoes-de-co2-com-iluminacao-led>. Acesso em Fevereiro 2018.
- [18] "Website da Beira news" disponível em <https://beiranews.pt/2017/04/projeto-de-instalacao-de-iluminacao-led-prosegue-para-vila-de-rei/>, acesso em Fevereiro 2018.
- [19] "lâmpada de incandescência", disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Lâmpada_incandescente, acesso em Fevereiro 2018.
- [20] D. N. d. Sousa, "Eficiência energética na iluminação pública", Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, 2012.
- [21] <http://blogportalcedesa.blogspot.pt/2015/09/>, acesso em Fevereiro 2018.
- [22] "Websites da faculdade de engenharia do Porto", disponível em https://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index_ficheiros/Page704.htm, acesso em Fevereiro 2018.
- [23] V. A. Scopacasa, "Introdução à Tecnologia de LED," *Revista LA_PRO, São Paulo, ed*, vol. 1, pp. 5-10, 2008.
- [24] "Díodo emissor de luz" disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Diodo_emissor_de_luz, acesso em Fevereiro 2018.
- [25] Resul, catálogo, iluminação pública (luminárias e acessórios), acesso em Fevereiro 2018.
- [26] "Websites da faculdade de engenharia do Porto", disponível em https://paginas.fe.up.pt/~ee03096/index_ficheiros/Page1196.htm, acesso em Maio 2018.
- [27] "Balastro" disponível em [https://pt.wikipedia.org/wiki/Balastro_\(eletricidade\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Balastro_(eletricidade)), acesso em Fevereiro 2018.
- [28] D. Pinto, "Sistemas de Controlo de Iluminação Pública", Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Universidade de Coimbra, 2016.
- [29] C. R. A. S. Santos, "Iluminação pública e sustentabilidade energética", Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, 2011.
- [30] D. R. Lourenço, "Sistemas de iluminação pública com gestão inteligente de consumo", Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2010.
- [31] EDP Distribuição, "APARELHOS DE ILUMINAÇÃO ELÉCTRICA E ACESSÓRIOS-Relógios Astronómicos", 2010.
- [32] Schröder, *OWLET - Gestão inteligente para iluminação eficiente*, disponível em <http://www.schreder.com/es-EC/productos/owlet-control-solutions/>, acesso em Junho 2018.
- [33] Schröder, disponível em <http://schredersau6j9zprod.dxcloud.episerver.net/pt-pt/produtos/senso/>, acesso em Março 2018.
- [34] Schröder, Folha de características SENSO 1|2, 2010, disponível em <http://pdf.archiexpo.com/pdf/schreder-comatelec/senso/58041-64775.html>, acesso em Junho 2018.
- [35] Schröder, disponível em www.schreder.com, acesso em Maio de 2018.

[36] Schröder, Folha de características ONYX 2, disponível em <http://www.minel-schreder.rs/download/files/article/Onyx-en.pdf?id=43>, acesso em Junho 2018.

Anexo I

Definições e conceitos de luminotecnia

Em anexo, elencam-se algumas definições bem como conceitos relativos a luminotecnia, importantes no âmbito do trabalho agora apresentado, nomeadamente no que diz respeito a luminotecnia, não deixando ainda de referir a relevância da eletrotecnia e da visão para a compreensão do estudo.

Espetro Eletromagnético

O espectro eletromagnético caracteriza-se por ser uma escala de radiações eletromagnéticas. No referido espectro estão representados os tipos existentes de ondas eletromagnéticas, sendo elas as ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios x e raios gama. As várias ondas eletromagnéticas propagam-se à velocidade da luz.

A única radiação humanamente visível, situa-se entre a radiação ultravioleta com comprimento de onda de 380 nm (violeta) e a região infravermelha com comprimento de onda de 700 nm (vermelho).

A figura I-1 mostra a localização dos vários tipos de radiação no espectro eletromagnético.

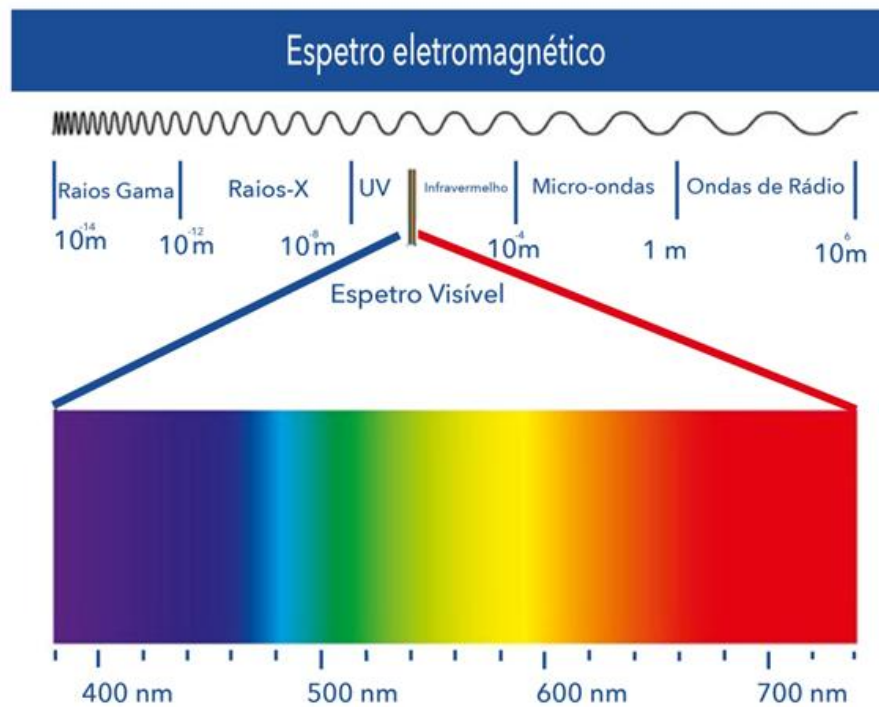


Figura I-1- Ilustração do espectro eletromagnético [I-1].

Sistema Visual

A visão é um sistema ótico que se caracteriza pela interação entre dois sistemas, o visual e o cerebral.

Os olhos caracterizam-se por serem órgãos sensoriais da visão, capturando a luz que incide sobre a retina, que se define por ser a camada mais interna do olho, a mesma constituída por dez camadas celulares. É na retina que a informação luminosa se transforma em sinal elétrico para ser enviado ao cérebro.

As células da retina captam a luz e transformam-nos em impulsos nervosos que são levados pelo nervo ótico para o cérebro, para que nele sejam decodificados. Uma das funções do cérebro é processar os estímulos provenientes dos olhos, reconstituindo a imagem [I-2], [I-3].

Na retina existem dois tipos de fotorreceptores, cones e bastonetes, os cones localizam-se na retina central e distinguem cores, num raio de 10 graus a partir da fóvea, os bastonetes encontram-se na periferia da retina central e são monocromáticos, fora da fóvea, porém transmitem informação diretamente para as células ganglionares.

Na entrada do nervo ótico localiza-se o ponto cego, insensível a luz, não existindo células fotorreceptoras no mesmo. Desse ponto cego emergem ainda os vasos sanguíneos que alimentam a retina [I-2].

Acuidade visual

A capacidade do olho de distinguir entre dois pontos próximos define-se por acuidade visual, esta depende de diversos fatores, sendo os dois principais o espaçamento dos fotorreceptores na retina e a refração do olho.

As distâncias na retina são medidas em ângulo visual (Θ). Quantitativamente, a acuidade visual é o inverso do ângulo mínimo sob o qual os olhos conseguem distinguir um pormenor [I-4].

$$AV = \frac{1}{\Theta} \quad (I.1)$$

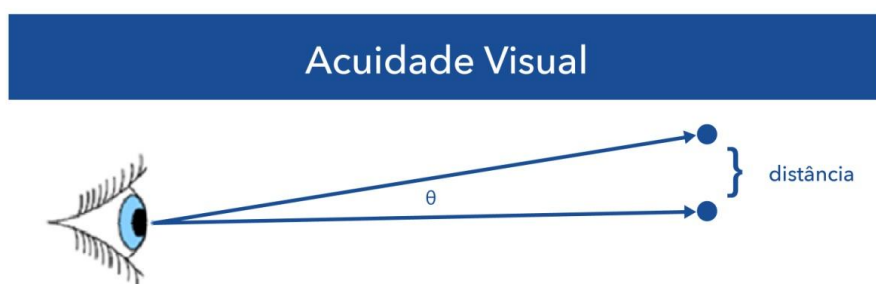


Figura I-2- Esquema da AV [I-4].

Em seguida, descrevem-se vários fatores que podem interferir com a AV [I-4]:

- **Adaptação**, capacidade que o olho humano possui para se ajustar a diferentes níveis de intensidade luminosa, mediante os quais a pupila terá como resultado a sua dilatação ou contração.
- **Acomodação**, ajustamento das lentes do cristalino de modo a que a imagem esteja permanentemente focada na retina.
- **Contraste**, diferença de luminância entre um objeto que se observa e o seu espaço envolvente.
- **Idade**, a capacidade visual de uma pessoa diminui com a idade, uma vez que, com o passar dos anos, o cristalino endurece, perdendo a sua elasticidade, tornando mais complicada a tarefa de focalização das imagens dos objetos.

Visão fotópica

Visão fotópica define-se pela sensibilidade do olho em condições de intensidade luminosa que permitam a distinção das cores. Em grande parte dos casos a visão fotópica corresponde à visão diurna, o que no caso humano corresponde a níveis de iluminação entre 0,01 lux e mais de 100 000 lux. A visão fotópica depende principalmente pela ativação dos cones [I-5].

Visão escotópica

Visão escotópica define-se pela visão produzida pelo olho em condições de baixa luminosidade. No olho humano os cones não funcionam em condições de baixa luminosidade, o que determina que a visão escotópica seja produzida exclusivamente pelos bastonetes, o que impossibilita a percepção das cores. Em média, a visão escotópica humana ocorre em luminâncias entre 10^{-2} e 10^{-6} cd/m² [I-6].

Visão mesópica

Visão mesópica designa-se pela combinação entre a visão fotópica e a visão escotópica que ocorre em situações de baixa luminosidade, mas não tão baixa que elimine de todo a componente fotópica da visão. O olho humano funciona em plena visão escotópica com intensidades de luz inferiores a 0.034 cd/m² e visão fotópica acima de 3.4 cd/m². Este intervalo (0.034 a 3.4 cd/m²) corresponde, para o indivíduo médio, à visão mesópica [I-7].

Efeito de Purkinje

Efeito de Purkinje, consiste no deslocamento do máximo de sensibilidade da visão sensível às cores, para o máximo de sensibilidade à luz, com a diminuição da luz recebida pelo olho [I-4].

Curva de sensibilidade do olho

O padrão da visão humana foi definido através de experiências realizadas na década de 20 do século XX. Estas experiências determinaram a sensibilidade espectral à luz do

sistema visual humano, definindo a curva $V(\lambda)$, que representa a resposta espectral de uma pessoa sob condições fotópicas.

Na figura I-3 estão representadas as curvas de sensibilidade espectral relativa do olho humano.

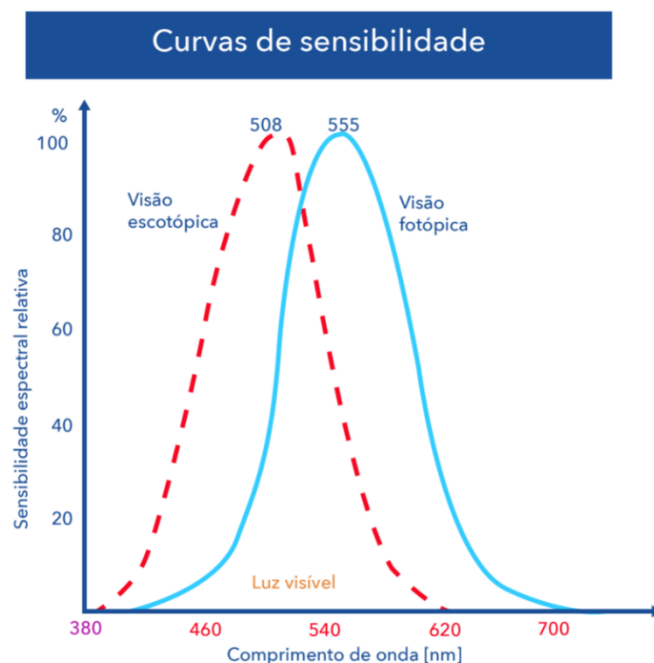


Figura I-3- Curvas de sensibilidade espectral do olho humano [I-8].

Encandeamento incomodativo (G)

O encandeamento incomodativo diz respeito à perda de faculdades de visualizar os objetos, agudeza visual, provocando simultaneamente fadiga ocular, em condições dinâmicas.

$$G = IEL + VRI \quad (1.2)$$

Em que:

- G representa o índice de deslumbramento incomodativo.
- IEL representa o índice específico da luminária.
- VRI representa o valor real da instalação.

Encadeamento Perturbador (TI)

O encadeamento perturbador ou incremento limite (TI) é uma medida utilizada para quantificar a perda de visibilidade causada pelo encandeamento das luminárias de IP.

Um exemplo pode ser dado quando um objeto está situado no limite da visibilidade e deixa de ser visível devido ao encandeamento. Para que o objeto passe a ser visível é necessário fazer um incremento, o qual se designa por TI, correspondendo a um aumento do nível de contraste.

$$TI = \frac{65}{\bar{L}^{0.8}} \times L_v \% \quad (1.3)$$

$$L_v = 10 \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\theta_k^2} = \frac{E_1}{\theta_1^2} + \dots + \frac{E_k}{\theta_k^2} + \dots + \frac{E_n}{\theta_n^2} \quad (1.4)$$

Onde:

- \bar{L} representa a luminância média da estrada em (cd/m^2).
- L_v representa a luminância encadeante equivalente em (cd/m^2).
- E_k representa a iluminância produzida pela luminária k, dado em (lux), num plano normal à altura dos olhos do observador.
- θ representa o ângulo dado em graus ($^\circ$), formado pelo arco da linha de visão e a linha desde o observador ao centro da luminária k.

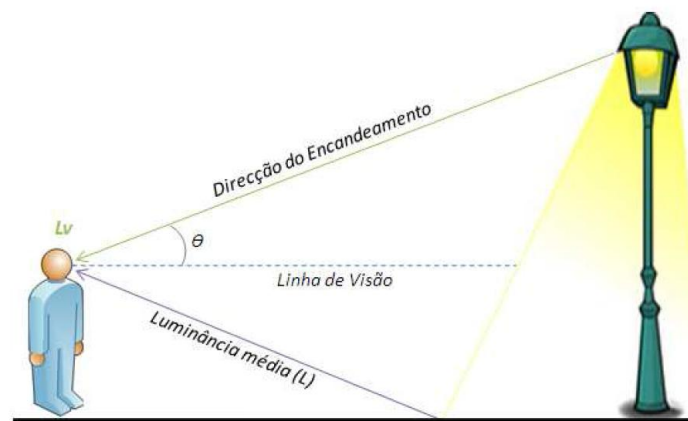


Figura I-4- Ilustração dos parâmetros utilizados para o cálculo do TI [I-4].

Luminotecnia

Absorção (α)

A absorção (α) descreve-se pela relação entre o fluxo luminoso que é absorvido por um corpo e o fluxo recebido por esse mesmo corpo. A sua unidade é %. A fórmula de cálculo é apresentada em I.5.

$$\alpha = \frac{\phi_a}{\phi} \quad (I.5)$$

Coeficiente de Utilização (η)

O coeficiente de utilização (η) resulta da relação entre o fluxo luminoso recebido por um corpo e o fluxo total emitido por uma fonte de luz. A unidade é %. A fórmula de cálculo é apresentada em I.6.

$$\eta = \frac{\phi}{\phi_e} \quad (I.6)$$

Rácio de saída do fluxo luminoso (LOR)

O rácio LOR define-se pela razão entre o fluxo luminoso total de uma luminária (ϕ), e a soma de todos os fluxos luminosos de todas as fontes individuais, quando essas mesmas fontes operam fora da luminária, sendo os fluxos medidos através de equipamento auxiliar.

$$LOR = \frac{\phi_{saída\ da\ luminária}}{\sum \phi_{fonte\ de\ luz\ individual}} \quad (I.7)$$

Para a execução de um projeto eficiente de IP torna-se necessário ter em conta dois conceitos derivados do LOR: o ULOR (rácio de saída de fluxo luminoso ascendente) e o DLOR (rácio de saída de fluxo luminoso descendente).

ULOR define-se pelo rácio entre o fluxo emitido para cima pela luminária com a soma de todos os fluxos individuais dessas mesmas fontes de luz quando operadas fora da luminária.

DLOR define-se pelo rácio entre o fluxo emitido para baixo pela luminária com o total dos fluxos individuais das fontes de luz quando operadas fora da luminária.

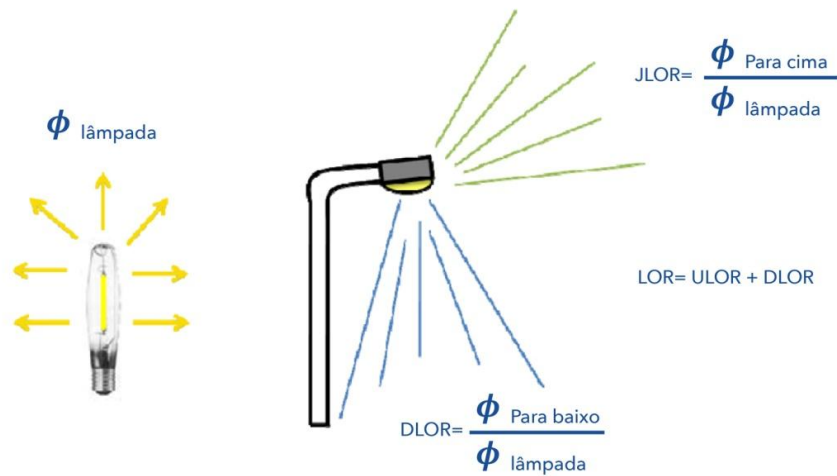


Figura I-5- Ilustração e esquematização dos rácios ULOR e DLOR [I-4].

Rácio Envolvente (SR)

O rácio envolvente (SR) define-se pela iluminância média horizontal nas duas faixas longitudinais exteriores aos limites laterais de uma faixa de rodagem, dividida pela iluminância média horizontal de duas faixas longitudinais da mesma estrada, adjacentes aos seus limites [I-4].



Figura I-6- Parâmetros para o cálculo do rácio SR [I-4].

A largura de cada uma dessas faixas longitudinais definidas, para o cálculo do rácio envolvente, terá de ser a mesma. O seu valor será o mínimo dos valores das três hipóteses seguintes:

- Para 5 m:

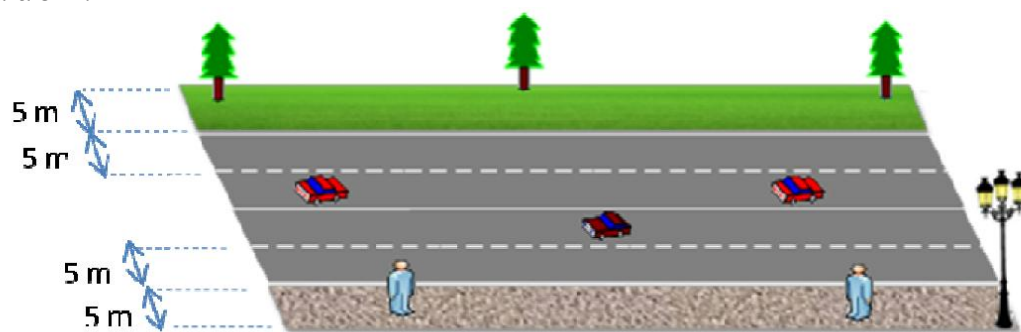


Figura I-7- Largura máxima para as faixas de 5 m para o cálculo de SR [I-4].

- Para metade da largura da estrada:



Figura I-8- Metade da largura da estrada para o cálculo de SR [I-4].

- Largura da faixa exterior ao limite da estrada que não esteja obstruída:

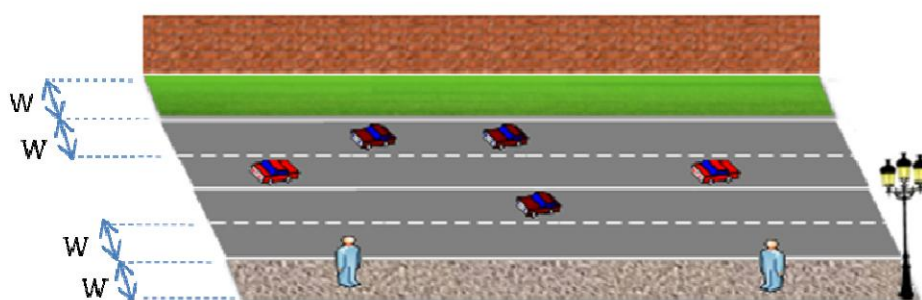


Figura I-9- Parede a obstruir a faixa longitudinal exterior para o cálculo de SR [I-4].

Em qualquer um dos três casos apresentados anteriormente, o rácio envolvente (SR) pode ser calculado através da iluminância média \bar{E} das várias faixas, pela fórmula I.8:

$$SR = \frac{\bar{E}_1 + \bar{E}_4}{\bar{E}_2 + \bar{E}_3} \quad (I.8)$$

Fator de utilização na instalação

Fator de utilização (FU)

O fator de utilização (FU) de uma instalação define-se como o rácio entre o fluxo luminoso recebido da superfície que se quer iluminar, designado de fluxo útil ($\phi_{\text{útil}}$), e pela soma de todos os fluxos de cada fonte de luz individual.

O FU de uma instalação está diretamente relacionado com o fator de manutenção global (FM), que depende de três outros fatores relacionados com os aspetos construtivos das fontes de luz e das luminárias. São eles, o FM_{LL} (fator de manutenção de luminância da lâmpada), FSL (fator de sobrevivência da lâmpada) e o FML (fator de manutenção da lâmpada).

Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (FM_{LL})

O fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (FM_{LL}) é dado pelo rácio do fluxo luminoso em dado momento da vida útil da lâmpada, $\phi(t)$, e pelo fluxo luminoso no instante inicial da sua vida, $\phi(0)$. Na figura I-10 apresenta-se um gráfico que pretende caracterizar o fator FM_{LL}:

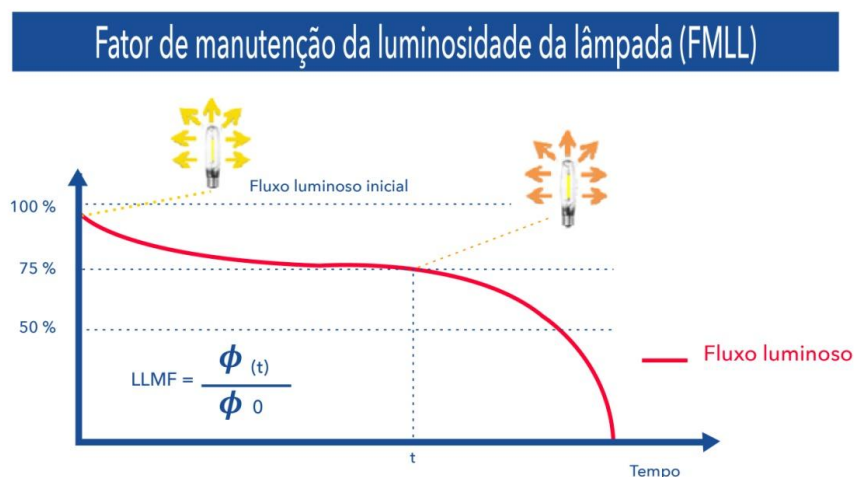


Figura I-10- Representação do fator FM_{LL} [I-4].

Fator de sobrevivência da lâmpada (FSL)

O fator de sobrevivência da lâmpada (FSL) é o fator que representa a razão entre o número total de lâmpadas instaladas pelo número de lâmpadas que continuam a funcionar a um dado momento. Na figura I-11, procura-se mostrar através da figura I-11 o referido fator:

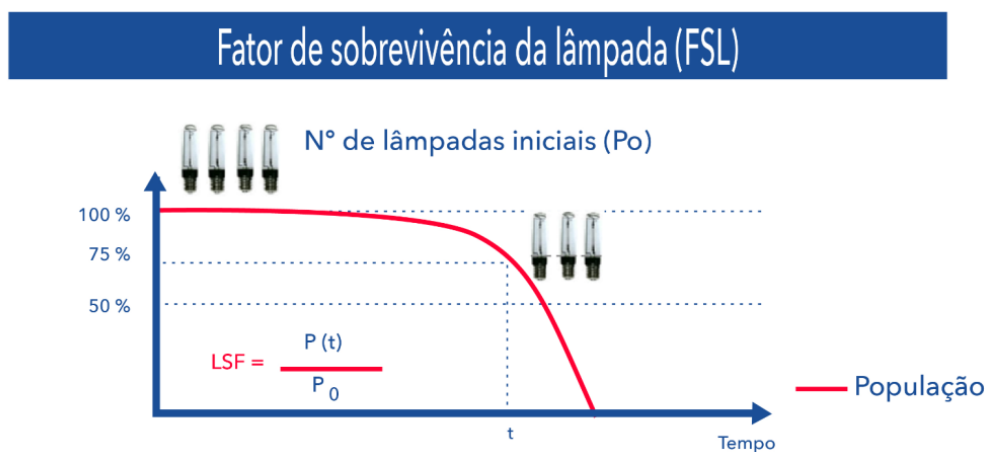


Figura I-11- Representação do fator FSL [I-4].

Fator de manutenção da luminária (FML)

O fator de manutenção da luminária (FML) corresponde ao rácio dado pelo LOR de uma luminária num dado instante, (LOR(t)), e o valor de LOR de início de vida da luminária. Neste contexto apresenta-se a figura I-12 um gráfico que pretende ilustrar este fator:

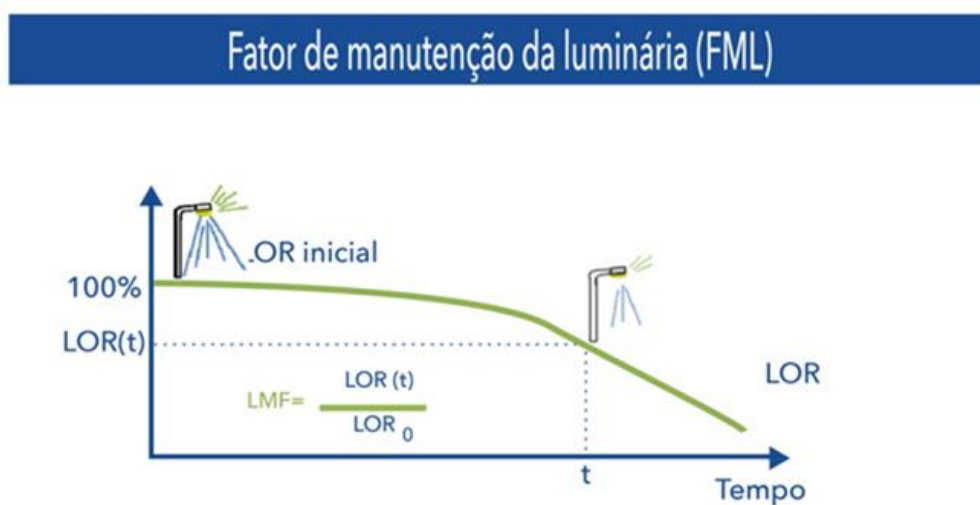


Figura I-12- Ilustração do fator FML [I-4].

Fator de manutenção (FM)

O fator de manutenção (FM) corresponde ao rácio da iluminância de uma instalação num determinado instante, $E(t)$, com a iluminância no instante inicial, $E_0(t)$, representado na figura I-13.

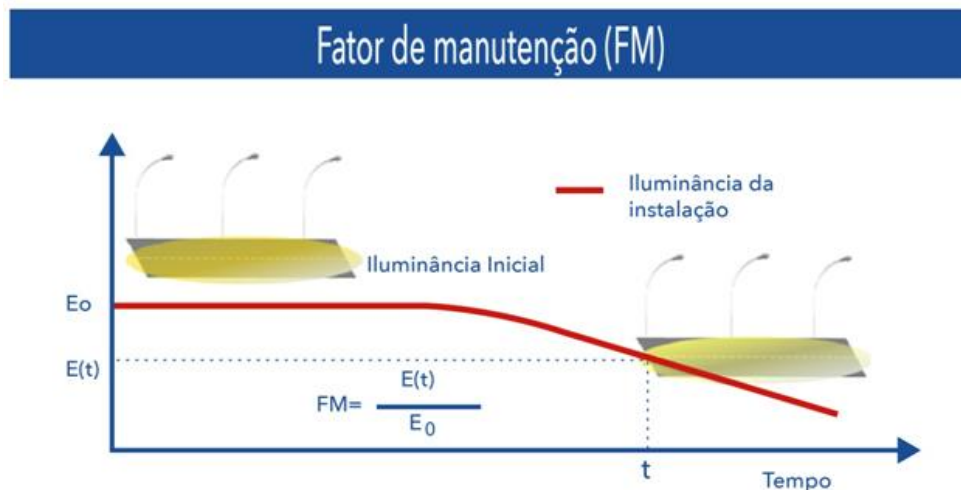


Figura I-13- Gráfico que pretende caraterizar o fator de manutenção (FM) [I-4].

Em I.9, representa-se a fórmula para o cálculo do fator de manutenção, que pode influenciar a potência a utilizar na fonte de luz, bem como o número das luminárias necessárias para atingir os valores de luminância especificados para o projeto.

$$FM = FMLL \times FSL \times FML \quad (I.9)$$

Sendo que:

- FM representa o fator de manutenção de uma instalação.
- FMLL representa o fator de manutenção da luminosidade da lâmpada.
- FSL representa o fator de sobrevivência da lâmpada.
- FML representa o fator de manutenção da luminária.

Fluxo luminoso (ϕ)

O fluxo luminoso (ϕ) define-se como a quantidade de energia radiante capaz de sensibilizar o olho humano. Os comprimentos de onda na gama visível do espectro situam-se entre os 380 nm e os 700 nm [I-9]. A unidade (SI) é o lúmen (lm), que define o fluxo luminoso

dentro de um cone de 1 esferorradiano (sr), emitido por um ponto luminoso com intensidade de 1 candela, em todas as direções.

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \times 1 \text{ sr} = 1 \text{ lx} \times \text{m}^2 \quad (\text{I.10})$$

Na tabela I-1 apresentam-se valores típicos para o fluxo luminoso de determinado tipo de fontes luminosas:

Tabela I-1- Tabela com alguns valores característicos para fluxo luminoso de várias fontes [I-10].

Tipo de lâmpada	Fluxo luminoso (lm)
Vela de cera	10
Incandescente translúcida 60 W	800
Halógena bipino 50 W	930
Fluorescente compacta 15 W	900
Fluorescente tubular 32 W	2700
Fluorescente tubular 28 W	2900
Vapor de sódio alta pressão 70 W	5600
Multivapor metálico 70 W	6600
LED 123 W	9000

Iluminância (E)

A iluminância (E) define-se pela quantidade de luz, ou fluxo luminoso que incide na direção perpendicular a uma superfície numa dada área. Neste sentido, pode dizer-se que a iluminância é a quantidade de luz dentro de um ambiente [I-4].

A unidade SI da iluminância é o lux (lx). A iluminância pode ser descrita através da equação I.11.

$$E = \frac{\delta \phi}{\delta A} = \int_{2\pi \text{sr}} L \cdot \cos(\theta) \cdot \delta \Omega \quad (\text{I.11})$$

Sendo que:

- E representa a iluminância.
- L a luminância num dado ponto nas várias direções dos raios elementares incidentes no ângulo sólido.
- Ω representa o ângulo sólido.

- θ representa o ângulo entre qualquer um dos raios e a normal à superfície num dado ponto.

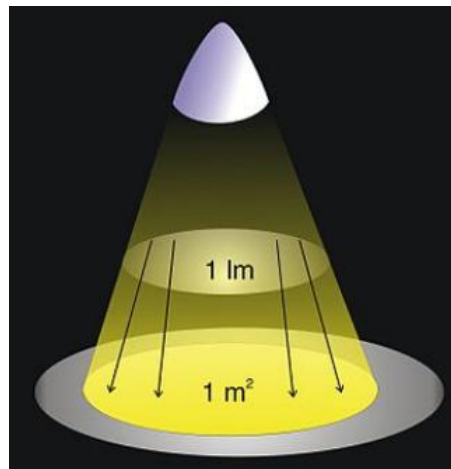


Figura I-14- Ilustração do conceito de iluminância [I-11].

Na tabela I-2, apresenta-se exemplos práticos de níveis de iluminância dados em lux para situações comuns.

Tabela I-2- Exemplos práticos de níveis de iluminância [I-12].

Exemplos de níveis de iluminância	
Verão, ao meio dia, sob um céu limpo	100000 lux
Iluminação Pública	5 a 30 lux
Lua cheia, numa noite clara	0,25 lux

A iluminância classifica-se de quatro maneiras diferentes:

- Horizontal (E_h), (conhecida também por iluminância E).
- Vertical (E_v).
- Semicilíndrica (E_{sc}).
- Hemisférica (E_{hem}).

A iluminância total num dado ponto, (E_p), é dada pela soma das iluminâncias dos vários focos de luz que iluminam esse mesmo ponto. A fórmula de cálculo apresenta-se em I.12, dando nota, de só se poder somar iluminâncias da mesma classificação. Por exemplo, só conta para o somatório iluminâncias do tipo horizontal, iluminâncias do tipo horizontal.

Em I.12 apresenta-se a respetiva fórmula de cálculo:

$$E_p = E_1 + E_2 + \dots + E_n \quad (I.12)$$

Temperatura de cor (Tc)

A temperatura de cor (Tc), mede-se geralmente em kelvin (°K), e é definida pela aparência de cor da luz emitida pela fonte que a ilumina. Esta definição está relacionada com a temperatura de um corpo negro radiante e a distribuição de energia da luz, emitida à medida que a temperatura desse mesmo corpo é elevada a partir do zero absoluto.

Verifica-se que quanto maior for a temperatura da fonte de luz, mais clara é a tonalidade da cor emitida (cores azuis). Por outro lado, se a temperatura de cor da fonte for baixa, maior será a impressão de uma luz quente (cores vermelhas) [I-13].

A referência à luz quente ou fria, não corresponde ao calor físico da luminária, mas sim à sua tonalidade. Luz com tonalidade mais suave, torna o ambiente mais aconchegante e relaxante, já uma luz mais clara, torna o ambiente mais estimulante [I-13].

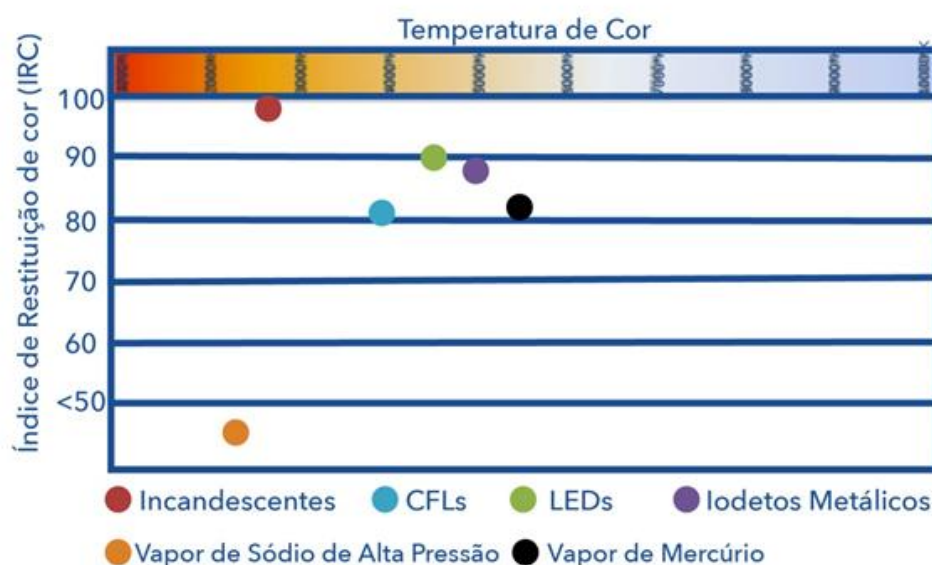


Figura I-15- Gráfico de temperaturas de cores [I-14].

Índice de reprodução de cor (IRC)

O índice de reprodução cromática representa o grau de fidelidade através do qual as fontes de luz revelam a cor ou cores dos objetos iluminados, em relação à aparência dessas cores quando iluminadas por uma fonte de luz ideal ou pela luz natural.

O IRC traduz-se num valor numérico que pode tomar o valor máximo de 100 unidades, e quanto mais alto o seu valor, mais natural será a sua aparência. Este índice tem um comportamento inverso ao valor da temperatura da cor, sendo que, os valores mais baixos da

temperatura de cor (cores mais quentes), são na generalidade as cores que alcançam valores mais elevados de IRC.

Este valor é calculado independentemente, por cada uma das 14 cores de R, havendo desde a cor R1 à R14. Existe também a representação Ra, que é calculada através da média 8 “R’s” do IRC, apresentando também um valor máximo de 100 [I-15].

Os índices IRC e o Ra são fundamentais para uma boa escolha de luminárias para espaços interiores onde a cor do que está a ser iluminado assume um papel importante. Exemplos disso serão, lojas de roupa, galerias de arte, frutarias, talhos e lojas de produtos frescos, entre outros. Um IRC alto proporciona maior conforto visual, uma vez que protege a visão e contribui para a redução de *stress* [I-15].

Para o presente projeto, tratando-se da implementação numa zona no exterior, concretamente a implementação de IP numa via, será dada mais importância ao índice IRC.

Na tabela I-3, apresenta-se uma tabela com os valores típicos de vários tipos de fontes de luz e os seus valores de IRC, bem como as suas temperaturas de cor.

Tabela I-3-Exemplos de fontes de luz, com temperatura (K°) e IRC [I-15].

Fontes de luz tradicionais	Temperatura	IRC
Sódio de baixa pressão	1800	15
Sódio de alta pressão	2100	24
Incandescente	2700	90
Fluorescente branco quente	2940	51
Fluorescente branco natural	4230	64
Vapor Sódio de Alta pressão	5500	100

Intensidade Luminosa (I)

A intensidade luminosa (I) é a medida da perceção da potência emitida por uma fonte luminosa numa dada direção. Pode ser definida como o fluxo luminoso compreendido na unidade de ângulo sólido no qual é emitido, pressupondo-se que a fonte luminosa é pontual [I-4].

A unidade SI para medida de intensidade luminosa é a candela (cd).

Pode ser calculada através da expressão I.13:

$$I = \frac{\phi}{w} \quad (\text{I.13})$$

Sendo que:

- I representa a intensidade luminosa e é expressa em candela (cd).

- ϕ representa o fluxo luminoso e é expresso em lúmen (lm).
- w representa o ângulo sólido e é expresso em esferoradianos (sr).

Luminância (L)

A **luminância (L)** corresponde à medição da densidade da intensidade de uma luz refletida numa dada direção, sendo que a sua unidade SI é a candela por metro quadrado, (cd/m^2) [I-17]. Descreve a quantidade de luz que atravessa ou é emitida de uma superfície em questão, e decai segundo um ângulo sólido.

Na figura I-16, ilustra-se o conceito de luminância, que corresponde à observação de parte de uma superfície iluminada pela intensidade luminosa, refletida por uma superfície dividida pela área visível para os olhos [I-17].

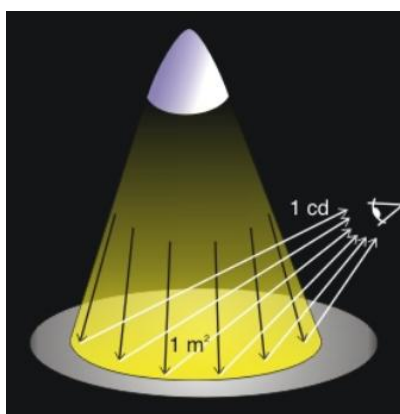


Figura I-16- Ilustração do conceito de luminância [I-17].

A equação de cálculo da luminância é:

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos(\theta)} \quad (\text{I.14})$$

Sendo que:

- I representa a intensidade luminosa.
- A representa a área da superfície iluminada.
- θ Representa o ângulo que reflete numa determinada direção.

Para o cálculo de L num determinado ponto da estrada, utiliza-se a expressão I.15:

$$L = \frac{I \times r \times \phi \times MF \times 10^{-4}}{H^2} \quad (\text{I.15})$$

Sendo que:

- I representa a intensidade luminosa, dada em cd e normalizada para kcd.
- r representa o coeficiente da luminância reduzida para um vetor de luz incidente, com coordenadas angulares (ε, β) , obtido através da tabela de reflexão de pavimento dada em st^{-1} .
- ϕ representa o fluxo luminoso de cada luminária no momento inicial, dado em klm.
- MF representa o produto de LLMF com o LMF.
- H representa a altura do poste, dada em m.

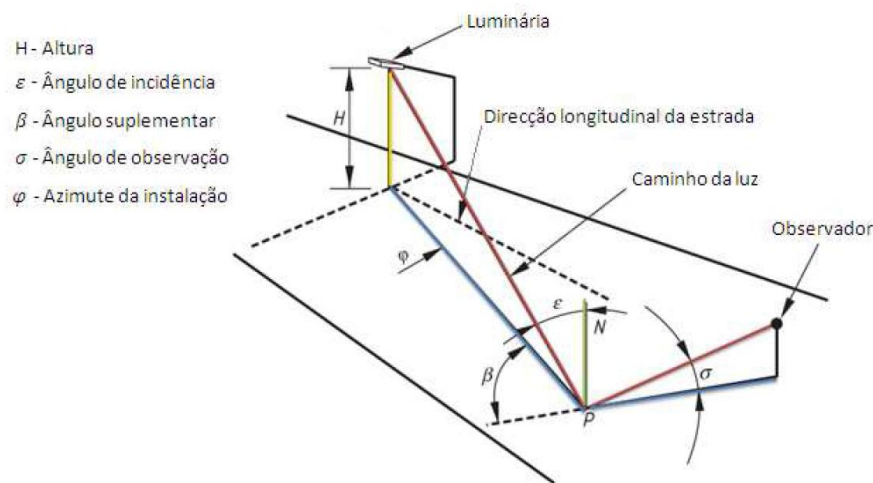


Figura I-17- Esquema para o cálculo da luminância [I-4].

Poluição luminosa

A poluição luminosa define-se como a poluição originada pela luz excessiva ou obstrutiva criada por humanos. A origem desta poluição são as luminárias, internas e externas, *spots* publicitários e outros tipos de iluminações artificiais, presentes nas zonas urbanas. Estando presente, tem interferências ao nível da saúde e nos ecossistemas.

Os constantes crescimentos populacional e económico explicam porque é que esta poluição é mais intensa nas regiões da Europa, Japão e América do Norte [I-18].

Para a IP e dependendo do tipo projeto que se pretende elaborar, o uso de fontes de luz direcionadas emitidas somente pelo hemisfério sul da luminária (para baixo da horizontal), de tal forma que a própria fonte de luz não seja visível pelos lados, é uma alternativa a considerar.

Uma luminária eficiente deve iluminar o chão um pouco mais de metade da sua distância ao próximo poste.

Em IP, são considerados três tipos de poluição luminosa:

- Luz emitida para o céu.
- Luz intrusiva.
- Brilho encadeante.

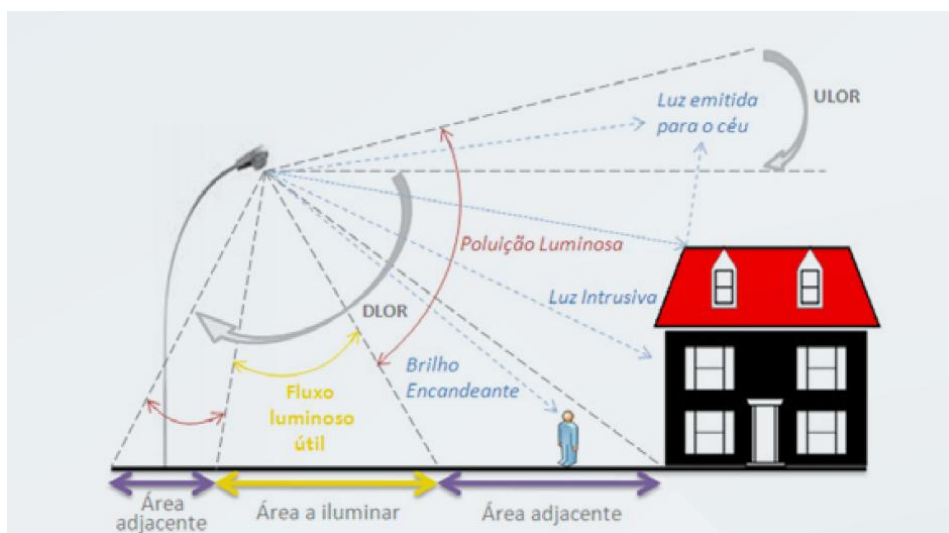


Figura I-18- Fluxo luminoso emitido por uma luminária [I-14].

Luz emitida para o céu

A luz emitida para o céu, também designada como *sky glow*, define-se como o brilho do céu da noite, que resulta da radiação que é emitida diretamente para cima (ULOR) e da radiação refletida pelas diversas superfícies [I-14].

Existem dois tipos de *sky glow*, natural e artificial.

- **Natural**, que corresponde à radiação de objetos celestiais e de processos de luminescência da atmosfera terrestre.
- **Artificial**, produzida pelo homem, como a IP, que inclui a radiação emitida diretamente para cima e a refletida pelas diversas superfícies [I-16].

Luz intrusiva

A luz intrusiva define-se como a luz emitida por uma instalação para fora dos limites da área ou propriedade que deveria iluminar, provocando desconforto e incômodo no sistema visual [I-14].

Brilho encadeante

O Brilho encadeante é um parâmetro que é medido de forma objetiva, dado pelo incremento limite (TI). Causa incómodo, desconforto, distração ou redução na capacidade de observar informação essencial e está diretamente relacionado com a segurança rodoviária [1-14].

Uniformidade

Na IP, o principal objetivo é a obtenção da iluminação mais eficiente nas vias a ser implementada, para que os obstáculos sejam facilmente visíveis.

Uma das preocupações principais será a inexistência de áreas negras entre as zonas iluminadas, garantindo-se a uniformidade na iluminação.

Uniformidade geral (U₀)

A uniformidade geral (U₀) resulta da expressão I-16:

$$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{med}} \quad (I.16)$$

Sendo que:

- U_0 representa a uniformidade geral.
- L_{min} representa o valor de luminância mais baixo existente num ponto qualquer do campo de cálculo.
- L_{med} representa o valor de luminância média.

Uniformidade longitudinal (U_l)

A uniformidade longitudinal (U_l) resulta da expressão I.17:

$$U_l = \frac{L_{min}}{L_{max}} \quad (I.17)$$

Sendo que:

- U_l representa a uniformidade longitudinal.

- L_{min} representa o valor de luminância mais baixo existente num ponto qualquer do campo de cálculo.
- L_{max} representa o valor de luminância mais alto existente num ponto qualquer do campo de cálculo.

Uniformidade média (U_m)

O número de pontos na direção longitudinal e o espaço entre eles terá de ser o mesmo que foi utilizado no cálculo da luminância média. Adicionalmente, a posição do observador deverá estar na direção retilínea da linha dos pontos de cálculo.

A expressão de cálculo da uniformidade média é dada por I.18.

$$U_m = \frac{E_{min}}{E_{med}} \quad (I.18)$$

Sendo que:

- U_m representa o valor da uniformidade média.
- E_{min} representa o valor de iluminância mínima.
- E_{med} representa o valor de iluminância média.

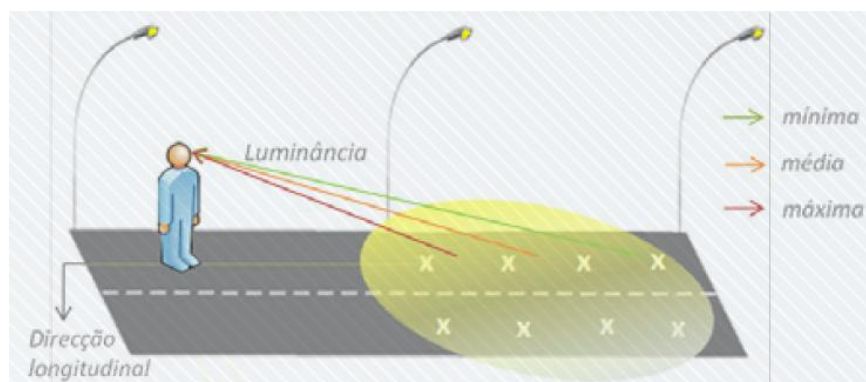


Figura I-19- Parâmetros de uniformidade geral e longitudinal [I-14].

Tempo de vida de uma luminária

O tempo de vida útil é uma das características das fontes luminosas mais relevantes, uma vez que influencia os custos de funcionamento, quer ao nível da manutenção quer ao número de lâmpadas a serem adquiridas durante um determinado período.

O tempo de vida útil é definido em horas, e representa o tempo no qual o fluxo luminoso inicial das lâmpadas testadas foi reduzido em cerca de 25% a 30% [I-16].

O tempo de vida de uma fonte de luz é normalmente caracterizado pelos seguintes indicadores:

- **B50** é o índice de mortalidade, indica o número de horas após as quais 50% de um lote significativo de lâmpadas acesas deixa de emitir fluxo luminoso.
- **L70**, normalmente definido em horas, representa o tempo no qual o fluxo luminoso inicial das lâmpadas testadas foi reduzido em cerca de 30% [I-14].

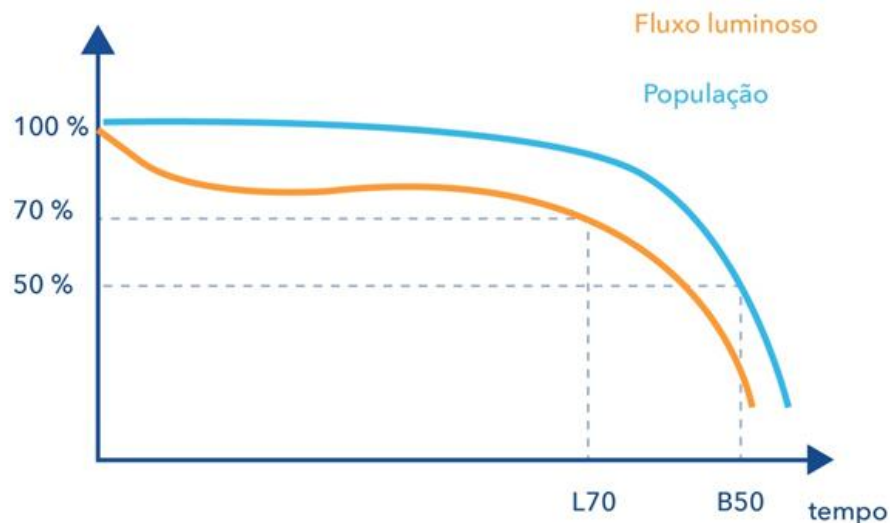


Figura I-20- Gráfico de tempo de vida útil (L70) e médio (B50) [I-14].

Eficácia Luminosa (η)

A eficácia luminosa (η) de uma fonte é a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte, (ϕ), e a potência elétrica por ela absorvida, (P).

A expressão da eficácia luminosa é dada por I.19:

$$\eta = \frac{\phi}{P} \text{ (lm/W)} \quad (\text{I.19})$$

Sendo que:

- η representa a eficácia luminosa em lm/W.
- ϕ representa o fluxo luminoso em lm.
- P representa a potência absorvida pela luminária em W.

Tabela I-4- Tabela com eficácia fotópica e escotópica de vários tipos de lâmpadas [I-14].

Fonte de luz	Eficácia Fotópica (lm/W)	Eficácia Escotópica (lm/W)
Vapor Sódio de Alta pressão	120	70
Vapor de Sódio de Baixa pressão	190	40
Iodetos Metálicos	100	180
LED	140	200

Eficiência Energética (IEE)

Classe de Eficiência energética das lâmpadas

A classe de eficiência energética de uma lâmpada é atribuída mediante a avaliação de vários fatores, como o consumo, a potência e o seu tipo.

Nesta classificação são apenas incluídas lâmpadas que refletem luz na gama do espectro visível (370 a 750 nm). São excluídas as lâmpadas que produzam um fluxo luminoso superior a 6500 lúmen, as lâmpadas cuja potência absorvida é inferior a 4 W e as lâmpadas refletoras.

As características da etiqueta são:

- A categoria de eficiência energética (A a G).
- O fluxo luminoso é dado em lúmen.
- A potência absorvida da lâmpada é dada em watts (W).
- O tempo de vida média é dado em horas (h).

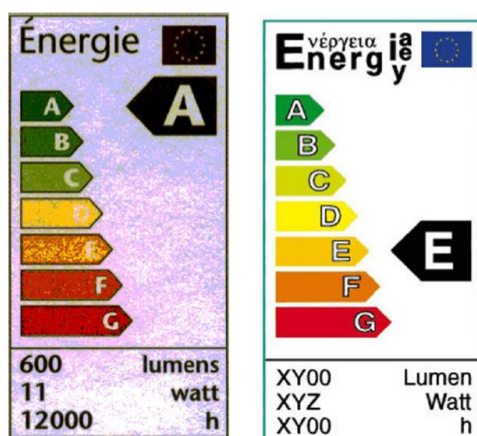


Figura I-21- Etiquetas de eficiência energética para lâmpadas [I-19].

Índice de Eficiência Energética (IEE)

A eficiência energética de uma instalação de IP define-se como a relação entre o produto da superfície iluminada pela iluminação média em serviço da instalação e a potência total instalada [I-14]. A expressão é representada em I.20:

$$IEE = \frac{S \times E}{P} \quad (I.20)$$

Sendo que:

- IEE representa o índice de eficiência energética.
- S representa a área total (m^2) (produto do valor da interdistância entre pontos de luz e largura total da via e passeios).
- E representa o nível médio de iluminância calculado.
- P representa a potência total das luminárias, mais auxiliares, intervenientes na área calculada.

Devido às crescentes preocupações com o uso eficiente da energia, também no IP os fabricantes continuam a desenvolver tecnologias mais eficientes. De seguida, apresenta-se uma tabela de referência que poderá servir de guia para a determinação da eficiência energética na IP. Não obstante, a mesma poderá ter que ser revista periodicamente para acompanhar as evoluções tecnológicas e um desenvolvimento sustentável [I-14].

Tabela I-5- Tabela de classificação energética em IP [I-14].

	Vias com largura > 6 m	Vias com largura ≤ 6m
A	IEE > 40	IEE > 30
B	40 ≥ IEE > 35	30 ≥ IEE > 25
C	35 ≥ IEE > 30	25 ≥ IEE > 20
D	30 ≥ IEE > 25	20 ≥ IEE > 15
E	25 ≥ IEE > 20	IEE ≤ 15
F	20 ≥ IEE > 15	
G	IEE ≤ 15	

Referências ANEXO I

- [I-1] "Espectro Eletromagnético", disponível em <https://www.todamateria.com.br/espectro-eletromagnetico/>, acesso em Fevereiro 2018.
- [I-2] "Acuidade Visual", disponível em <http://fisicadeacao.blogspot.pt/2010/08/acuidade-visual.html>, acesso em Fevereiro 2018.
- [I-3] "Visão", disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Visão>, acesso Fevereiro 2018.
- [I-4] EDP Distribuição, "Manual de iluminação pública, volume 1 - conceitos básicos de luminotecnica," tech. rep., Maio 2010.
- [I-5] "Visão Fotópica", disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Visão_fotópica, acesso em Fevereiro 2018.
- [I-6] "Visão Escotópica", disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Visão_escotópica, acesso em Fevereiro 2018.
- [I-7] "Visão Mesópica", disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Visão_mesópica, acesso em Fevereiro 2018.
- [I-8] "Visão Humana- Lume Arquitetura", Candura, Paulo, Artigo Técnico, disponível em http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed03/ed_03_llum.pdf, acesso em Março 2018.
- [I-9] "Fluxo luminoso", disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Fluxo_luminoso, acesso em Fevereiro 2018.
- [I-10] "Valores de fluxo luminoso", disponível em [http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0213/Material_de_Apoio/03_-_la._Conceito_Fundamentais_\(grandezas_Luminosas\).pdf](http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0213/Material_de_Apoio/03_-_la._Conceito_Fundamentais_(grandezas_Luminosas).pdf).
- [I-11] "Iluminamento", disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Iluminamento>, acesso em Fevereiro 2018.
- [I-12] "Website da Schröder", disponível em <http://www.schreder.com/pt-pt/learningcenter/conceitosbasicosdeiluminacao/illuminance>, acesso em Fevereiro 2018.
- [I-13] "Temperatura de cor", disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Temperatura_de_cor, acesso em Fevereiro 2018.

- [I-14] EDP Distribuição, “Manual de iluminação pública, revisão - conceitos básicos de luminotecnia,” tech. rep., 2016 disponível em <https://www.edpdistribuicao.pt/pt/profissionais/EDP%20Documents/Manual%20Iluminação%20Pública.pdf>.
- [I-15] “Website de Brilumen” disponível em <http://www.brilumen.com/geral/Indice-de-Reproducao-Cromatica-CRI>, acesso em Fevereiro de 2018.
- [I-16] D. A. M. Saraiva, “Medidas de Eficiência Energética em Redes de IP”, Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, 2014.
- [I-17] “Luminância”, disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Luminância>.
- [I-18] “Poluição Luminosa”, disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Poluição_luminosa.
- [I-19] Maciel Barbosa, Fernando, “Aulas de LIND”, FEUP, slides, 2018.